

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Ciências Biológicas**  
**Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre**

Vanessa de Paula Guimarães Lopes

**ALIENÍGENAS EXISTEM! E ESTÃO SUBSTITUINDO UMA DAS ESPÉCIES DE  
PRIMATAS MAIS AMEAÇADAS DA MATA ATLÂNTICA**

**Belo Horizonte**

**2023**

VANESSA DE PAULA GUIMARÃES LOPES

**ALIENÍGENAS EXISTEM! E ESTÃO SUBSTITUINDO UMA DAS ESPÉCIES DE  
PRIMATAS MAIS AMEAÇADAS DA MATA ATLÂNTICA**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (PPG-ECMVS) da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ecologia.

Orientador: Dr. Flávio Henrique Guimarães Rodrigues.

Coorientadores: Dr. Rodrigo Lima Massara e Dr. Fabiano Rodrigues de Melo

**Belo Horizonte**

**2023**

043      Lopes, Vanessa de Paula Guimarães.  
            Alienígenas existem! E estão substituindo uma das espécies de primatas  
            mais ameaçadas da mata atlântica [manuscrito] / Vanessa de Paula Guimarães  
            Lopes. – 2023.  
            139 f. : il. ; 29,5 cm.

            Orientador: Dr. Flávio Henrique Guimarães Rodrigues. Coorientadores: Dr.  
            Rodrigo Lima Massara e Dr. Fabiano Rodrigues de Melo.

            Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de  
            Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e  
            Manejo da Vida Silvestre.

            1. Ecologia. 2. Espécies em Perigo de Extinção. 3. Espécies Introduzidas. 4.  
            Hibridização Genética. I. Rodrigues, Flávio Henrique Guimarães. II. Massara,  
            Rodrigo Lima. III. Melo, Fabiano Rodrigues de. IV. Universidade Federal de  
            Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. V. Título.

CDU: 502.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE



**Ata da Defesa de Tese**

Nº 221

Entrada: 2018/2

**Vanessa de Paula Guimarães Lopes**

No dia 30 de junho de 2023, às 14:00 horas, por vídeo conferência, teve lugar a defesa de tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, de autoria do(a) doutorando(a) Vanessa de Paula Guimarães Lopes, orientando(a) do Professor Flávio Henrique Guimarães Rodrigues, intitulada: **“Alienígenas existem! E estão substituindo uma das espécies de primatas mais ameaçadas da Mata Atlântica”**. Abrindo a sessão, o(a) Presidente(a) da Comissão, Doutor(a) Flávio Henrique Guimarães Rodrigues, após dar a conhecer aos presentes o teor das normas regulamentares do trabalho final, passou a palavra para o(a) candidato(a) para apresentação de seu trabalho. Estiveram presentes a Banca Examinadora composta pelos Doutores: Laurence Marianne Vincianne Culot (UNESP), Maria Cecilia Martins Kierulff (Programa de Conservação dos Saguis da Serra), Carla de Borba Possamai (Muriqui Instituto de Biodiversidade), Paloma Marques Santos (Instituto Nacional da Mata Atlântica) e demais convidados. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do(a) candidato(a). Após a arguição, apenas os senhores examinadores permaneceram no recinto para avaliação e deliberação acerca do resultado final, sendo a decisão da banca pela:

Aprovação da tese, com eventuais correções mínimas e entrega de versão final pelo orientador diretamente à Secretaria do Programa, no prazo máximo de 30 dias;

Reprovação da tese - (marcar se é a primeira ou segunda reprovação):  \*primeira reprovação  segunda reprovação

\*Conforme o disposto no Artigo 80 da Resolução Complementar do CEPE/UFMG Nº 02/2017, de 04 de julho de 2017, caso seja a primeira reprovação, poderá ser concedido, a critério do Colegiado de Curso, um prazo para a realização de nova defesa de tese.

A banca indica esta tese aos Prêmios CAPES e UFMG de teses?  SIM  NÃO

Nada mais havendo a tratar, o Presidente da Comissão encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 30 de junho de 2023.

Assinaturas dos Membros da Banca Examinadora



Documento assinado eletronicamente por **Paloma Marques Santos**, **Usuária Externa**, em 07/07/2023, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carla de Borba Possamai, Usuária Externa**, em 07/07/2023, às 14:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Laurence Marianne Vincianne Culot, Usuária Externa**, em 10/07/2023, às 09:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Flavio Henrique Guimaraes Rodrigues, Membro**, em 04/09/2023, às 10:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Maria Cecília Martins Kierulff, Usuária Externa**, em 19/09/2023, às 13:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **2451021** e o código CRC **03DE9EC3**.

---

## AGRADECIMENTOS

É... O momento mais aguardado chegou, agora eu tô aqui, vivendo aquilo que eu pedi lá atrás para os amigos de luz! Tarefa difícil colocar em palavras esses 5 anos. Foi uma mistura de diversos sentimentos, no início do doutorado “todo santo ajuda”, foi felicidade e animação! No meio, entra governo Bolsonaro, a pandemia, o desespero, as dificuldades e começa o desânimo. Algumas coisas do doutorado começam a não dar certo, a vida pessoal também se embola no meio de campo e aí a gente dá aquela escorregada. Mas o final vem, não da maneira que eu gostaria e esperava, ele veio cheio de desafios, e continuava o desânimo, o desespero, veio a ansiedade e muita dificuldade para colocar no papel aquilo que eu fiz em campo e fora dele – formular uma única frase nesse momento era a tarefa mais difícil dessa jornada... Mas como dizia Belchior:

**“Presentemente eu posso me considerar um sujeito de sorte**

**Porque apesar de muito moço, me sinto são e salvo e forte**

**E tenho comigo pensado, Deus é brasileiro e anda do meu lado**

**E assim já não posso sofrer no ano passado. Tenho sangrado demais, tenho chorado pra cachorro. Ano passado eu morri, mas esse ano eu não morro”**

E assim foi...

Tive pessoas especiais que seguraram a minha mão, me colocaram pra cima, do começo ao fim, mas principalmente nesse final turbulento.

Começo agradecendo aos saguis, principalmente, ao aurita. Foi por ele que me dediquei esses últimos anos, foram eles os maiores responsáveis por terem colocado pessoas tão incríveis nessa minha jornada, também foram eles que me fizeram ser quem eu sou hoje (um pouco mais madura, mais experiente e com algumas dores a mais).

Minha família, com certeza, é a peça fundamental para eu ter chegado aqui (**são e salvo e forte**). Sem dúvida eu tenho o melhor carinho do mundo (meu amado saquinho de pelo, Ernesto); o melhor sorriso, conforto e colo do planeta (minha mainha); o melhor porto seguro e companheirismo (Grazi); a ligação mais esperada e o abraço mais gostoso (painho); a saudade diária e a melhor amiga do mundo (Xu - Amanda). Também tenho os lambeijos e beijos mais gostosos do mundo (Ninoca, Raul, Pedro Arthur, João Victor e Luis Miguel); o cunhado com o seu jeitinho de amar tão discreto (Felipe) e a madrasta mão p/toda obra (Lu). Amo vocês muito!

Agradeço as duas grandes amigas que entraram na minha vida, por causa dos saguis, é claro, e hoje são família. Natasha marida, você não tem ideia do seu lugar nesse coraçãozinho aqui, você foi a pessoa mais presente na minha vida durante esses anos. Obrigada, minha grande amiga, por todos os momentos juntas, por não me deixar desistir, por estar comigo no momento mais especial desse processo de doutorado, conseguimos!!! Obrigada pelo melhor macarrão, pelas conversas, pelas cervejas geladas, pelos tombos nas trilhas, pelas gargalhadas, pelas músicas bregas e pelos puxões de orelha. Julieta, obrigada por ser mãezona, a mais sensata desse trio maluco, obrigada pelos conselhos, por esse coração tão perfeito e pela força. Foram os momentos mais loucos da minha vida, mas conseguimos chegar ao pódio juntas (com alguns troféus de otárias, mas faz parte). Poderia até pensar em fazer tudo de novo, só se fosse com vocês!

Outras amigas também estavam comigo nessa caminhada, sempre estiveram na verdade, por longos e longos anos. Obrigada por compreenderem a minha ausência, pelos encontros presenciais (Flores + Xixa) e virtuais (Aspi). Em especial eu agradeço aquela amiga que nunca soltou a minha mão, Jô.

Nesse processo, amores verdadeiros se foram, mas lutaram comigo do início ao fim! Estiveram presentes de todas as formas, seja comigo no meu primeiro campo ou por mensagens de incentivo até o último minuto dessa fase, “I want you to be happier, Even though I might not like this. I think that you'll be happier, I want you to be happier” (Du). Obrigada por dividir a sua família comigo, neny. Obrigada pelos momentos incríveis e pelo carinho Eliane, Ernesto, Leli, Gabriel, Maria, e demais integrantes da minha segunda família bucapé. Que sorte a minha!

Amores verdadeiros também chegaram... também graças aos saguis... “...e apareceu do nada...”, não se tornando “só mais um amigo”! Esse meu pretinho, nada básico, com seu jeitinho capixaba de ser, seu humor matutino, me encantou e “mexeu demais comigo”! Sempre me ajudando, me inserindo em todos os seus rolos (de trabalho, é claro!), hoje é quase um primatólogo! Obrigada por estar comigo nessa, migo/lindo! “O que vamos fazer hoje, Pink? – Vamos dominar o mundo!”. Eu e tu! Tu e eu! “É cedo ou tarde demais pra dizer adeus, pra dizer jamais?”.

Falando em sorte.... Eu ganhei na mega por ter tido comigo um timaço de orientadores (Dr. Flávio Rodrigues, Dr. Rodrigo Massara e Dr. Fabiano Melo). Cada um com seu jeitinho, mas que juntos me auxiliaram com excelência em todo esse meu percurso. Na vida da gente sempre existe o que pega no pé (sempre corrigindo meu mineirês, ne Flávio?!), mas que abre portas,

janelas e caminhos! Tem aquele de coração mole, que tem a solução para todos os problemas, que responde rápido e que acalma, mas que não é muito de campo, né Massara?! E tem aquele que é carinho, que a gente carrega como pai, como inspiração, como oportunidade de crescer, crescer e crescer, e agora voar mais alto, literalmente, né papito?! Obrigada, meninos, aprendi muito com vocês!

Como uma boa belo-horizontina, a UFMG sempre brilhava meus olhos, mas foi na minha queridinha UFV que passei meus intensos anos de graduação e mestrado. Porém, como “o bom filho à casa torna”, eu queria fazer aqueles olhinhos brilharem novamente... E brilhou! A UFMG me fez enxergar a ciência de uma outra forma, tive experiências encantadoras, professores inspiradores, alunos apaixonados pelo que fazem e vi oportunidades incríveis de crescimento! Por isso, obrigada aos laboratórios que me acolheram (Lab. de Ecologia de Mamíferos, Lab. de Ecologia e Conservação), e à todos que estiveram comigo ao longo do doutorado, Marcela, Páglia, Guilherme Andrade, Júlia Winkler e demais colegas.

Também quero agradecer à minha amada UFV, que não deixou de estar presente em mim durante esse processo, e todos os colegas de lá que contribuíram nessa caminhada, em especial aos membros do CCSS e PCSS.

Minha gratidão enorme ao Muriqui Instituto de Biodiversidade – MIB, que me acolheu durante a realização desse projeto e agora abriu uma das maiores portas para o meu futuro. Sim, meus queridos amigos, quem vos fala é a nova membra do MIB, atual coordenadora de campo do Primatas PERDidos: conservação do muriqui-do-norte! Que felicidade!

É claro que eu não poderia deixar de mencionar meu amado “Primatas PERDidos”, por onde tudo começou e onde eu me vejo lá na frente, com grandes amigas ao meu lado, fazendo o que mais amamos, atuando para a conservação de primatas que estavam PERDidos! Vocês ainda ouvirão muito sobre o Primatas PERDidos, podem apostar!

Minha enorme gratidão também ao lugar onde tudo começou, o Parque Estadual do Rio Doce (PERD), de onde saiu esses Primatas PERDidos. Obrigada pelos banhos de lagoa sem mordida de piranha, obrigada pela noites de céu estrelado, pelo pôr do sol encantador, pelos passeios de barco, pelos vinhos na casa de tábuas, pelas noites de calma e silêncio, pelos encontros com a Margarida (nossa vizinha anta), pelos amigos que eu tive o prazer de fazer (Michele, Sâmela, Lília e demais). Obrigada pelos pesquisadores que eu tive a honra de conhecer: amigos dos bicudos/Waita (Thalia, Gleidson, Carol, Magda, Alice e Ariela), amigos do tatu-canastra (Bárbara, Cimar, Marcélio, Arnaud e Guto), amigos das onças (Fernando, Fernandinha e Ju),



amigos dos veados (Chico, Jeferson e Nicks), amigos da harpia. Simbora Unidos pelo PERD, temos muito o que fazer nesse paraíso!

E finalmente tenho que enaltecer aqueles que fizeram esse projeto acontecer, os membros do PERD, que viraram amigos e família! Obrigada Vicente, Ângela, Renato, Marquinhos, Marcinho, Marlinho, Romário, Júnior, Kal, Ricardo, Tião, Dona Naná, Davi, Jaque, Celminha, Sarinha, João Júlio, Perpétuo, Gabriel, Vinícius e Jailma.

Também agradeço aqueles que investiram recursos financeiros e apoio institucional para a concretização desse sonho. Obrigada Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que me concedeu a bolsa de pesquisa. Obrigada The Rufford Foundation, meio por onde fiz amigos e que tive grandes oportunidades. Obrigada Global Wildlife Conservation/Re:wild, meio por onde conheci grandes inspirações da primatologia – Rylands e Mittermeier. Obrigada Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, em especial ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Primatas Brasileiros/CPB (sobretudo, Jerusa). E obrigada Instituto Estadual de Florestas (IEF).

Sem o suor de cada um de vocês, nada disso teria sido construído. Obrigada por tanto e por tudo! Viva o sagui-caveirinha! Vida longa ao PERD! Viva a ciência!

Chegar até aqui não foi fácil, passei por muitos desafios, sobretudo, infelizmente, por ser mulher! Tive medo, sofri, chorei, recuei, pensei em desistir, mas mantive a cabeça erguida, principalmente por encontrar, ao longo desse caminho, grandes mulheres que me inspiraram e me inspiram. Obrigada mulherada por não desistirem! Essa vitória é nossa! Viva as mulheres na ciência! Viva as mulheres na primatologia! Viva as mulheres! Obrigada por essa força!

*“What you do makes a difference, and you have to decide what kind of difference you want to make.”*

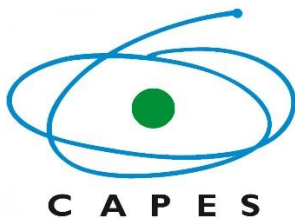
Da minha musa inspiradora, Jane Goodall



## APOIO INSTITUCIONAL



## APOIO FINANCEIRO



## RESUMO

A intensa atividade antrópica modifica a paisagem nativa, levando a fragmentação e perda de habitat, que potencializam invasões biológicas e a aproximação entre espécies alóctones e nativas. Dentre os primatas, o gênero *Callithrix*, endêmico do Brasil, possui o maior número de registro de espécies invasoras nos Neotrópicos, e são uma das maiores ameaças às espécies nativas, já que irão competir por recursos e hibridar com as espécies locais muitas vezes já ameaçadas de extinção. Essas invasões de saguis e o processo de hibridação ocorrem em muitas áreas da Mata Atlântica e são observados inclusive em áreas protegidas, como no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais. O PERD é uma das poucas áreas protegidas de ocorrência natural de um dos primatas mais ameaçados do mundo, *C. aurita*. No entanto, a população está ameaçada devido a invasão de outras duas espécies de saguis alóctones, *C. geoffroyi* e *C. penicillata*. Buscamos compreender como *C. aurita* foi afetado pelas invasões de saguis congêneres no PERD e em fragmentos florestais ao seu entorno. Inicialmente, combinamos o método de *playback* com modelos de ocupação *N-mixture* para estimar a abundância e a probabilidade de detecção de *Callithrix* spp. em áreas no interior do PERD. Posteriormente, combinamos modelos de ocupação *single-season* com *playbacks* para avaliar se fragmentos florestais que circundam o parque, além dos tipos de uso e cobertura do solo, influenciariam a distribuição de *Callithrix* spp. Também avaliamos quais regiões do entorno do PERD seriam mais vulneráveis à novas introduções de saguis alóctones para o interior do parque. Nossos resultados evidenciaram o alto nível de ameaça a *C. aurita*, já que os grupos de saguis que identificamos foram predominantemente formados de indivíduos híbridos entre as espécies invasoras (*C. geoffroyi* e *C. penicillata*) e destas com *C. aurita*, tanto no interior do PERD, quanto em remanescentes à oeste e sul. O número de indivíduos de *C. aurita* foi extremamente baixo no PERD e nenhum integrante da espécie foi registrado nos remanescentes circundantes. A abundância de *Callithrix* spp., sobretudo para os indivíduos

híbridos, se mostrou maior em localidades próximas à borda florestal do parque, provavelmente em decorrência da alta disponibilidade de recursos alimentares e abrigo nestas áreas. A probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. também foi maior em fragmentos florestais mais próximos ao PERD, evidenciando que as regiões à oeste e sul do parque são mais vulneráveis a novas introduções de saguis alóctones, possivelmente por apresentarem alta conectividade com o PERD e maior permeabilidade para o deslocamento dos indivíduos. Esses achados indicam grande ameaça dos saguis invasores e seus híbridos para *C. aurita*. Sugerimos a necessidade da implementação de medidas urgentes para a conservação de *C. aurita*, como o plano de manejo para os poucos indivíduos nativos presentes no interior do PERD, e o manejo das populações de saguis alóctones e seus híbridos nos fragmentos florestais ao redor do parque, a fim de garantir a integridade genética de *C. aurita* e a sua viabilidade populacional.

**Palavras-chave:** Primatas ameaçados, Primatas invasores, Híbridação, Modelagem ecológica, Capacidade de dispersão, Floresta Neotropical

## ABSTRACT

Intense human activity modifies the native landscape, leading to fragmentation and habitat loss, that enhance biological invasions and approximation between allochthonous and native species. Among primates, the genus *Callithrix*, endemic to Brazil, has the highest records of invasive species in the Neotropics and is one of the greatest threats to native species, as they will compete for resources and hybridize with local species that are often already endangered. These marmoset invasions and the hybridization process occur in many areas of the Atlantic Forest and are even observed in protected areas, such as the Rio Doce State Park (RDSP), in the state of Minas Gerais. The park is one of the few protected areas of natural occurrence of one of the most endangered primates in the world, *C. aurita*. However, the population there is threatened by the invasion of other allochthonous marmosets, *C. geoffroyi* and *C. penicillata*. We seek to understand how *C. aurita* is affected by marmoset invasions in the RDSP and in forest fragments around it. Initially, we combined the playback method with N-mixture occupancy models to estimate the abundance and probability of detection for *Callithrix* spp. in areas inside the RDSP. Subsequently, we combined single-season occupancy models with playbacks to assess whether forest fragments that surround the park, in addition to the types of land use and cover, would influence the distribution of *Callithrix* spp. We also evaluated which regions around the RDSP would be more vulnerable to new introductions of allochthonous marmosets into the park. Our results showed the high level of threat to *C. aurita*, since we identified groups of marmosets, predominantly, formed by hybrid individuals between the invasive species (*C. geoffroyi* and *C. penicillata*) and these with *C. aurita*, both inside the RDSP, and in remnants to the west and south. The number of individuals of *C. aurita* was extremely low in the RDSP, and no individuals of the species were recorded in the surrounding remnants. The abundance of *Callithrix* spp., especially for hybrid individuals, was higher in locations close to the forest edge of the park, probably due to the high availability of food and shelter resources in these

areas. The probability of occupancy of *Callithrix* spp. was also higher in forest fragments closer to the RDSP, showing that the fragments present in the western and southern regions of the park are more vulnerable to the new introduction of allochthonous marmosets, possibly because they have high connectivity between them and the RDSP and greater permeability for the movement of these primates. These findings indicate a great threat from invasive marmosets and their hybrids to *C. aurita*. Given the current scenario, our work indicates the necessity to implement urgent measures for the conservation of *C. aurita*, such as a management plan for the few individuals native inside the RDSP and the manage allochthonous marmoset populations and their hybrids in the forest fragments around the park, in order to guarantee the genetic integrity of *C. aurita* and their populations viability.

**Keywords:** Endangered primates, Invasive primates, Hybridization, Ecological modeling, Dispersal ability, Neotropical forests

## LISTA DE FIGURAS

### *Introdução geral*

**Figura 1.** Esquema com os objetivos e estrutura da tese ..... 28

### *Capítulo 1*

**Figura 1.** Distribuição original das espécies de *Callithrix* e a localização do Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Os hexágonos mais claros representam menor abundância, enquanto os hexágonos mais escuros representam maior abundância, com base na variável preditora mais decisiva por influenciar este parâmetro (isto é, distância até a borda da floresta; Tabela 1). (B) Local de amostragem hexagonal (205 m de cada lado, 11 ha) para pontos de *playback* de saguis ..... 35

**Figura 2.** Indivíduos de *Callithrix* spp. observados no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Indivíduos híbridos com caracteres fenotípicos entre *C. aurita* x *C. penicillata* (A) e entre *C. penicillata* x *C. geoffroyi* (B). Indivíduo com caracteres fenotípicos de *C. aurita* (C) em um grupo composto por indivíduos híbridos de *C. aurita* x *C. penicillata* e *C. penicillata* x *C. geoffroyi* (D). Seta rosa: indivíduo híbrido de *C. penicillata* x *C. geoffroyi*; seta vermelha: indivíduo puro de *C. aurita*; seta amarela: híbrido de *C. aurita* x *C. penicillata* ..... 43

**Figura 3.** Efeito da distância até a borda da floresta (A) na abundância (IC 95% - linhas tracejadas) de *Callithrix* spp. Efeito da precipitação na probabilidade de detecção (IC 95% - linhas tracejadas) de *Callithrix* spp. (B) no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. As estimativas e os IC95% foram obtidos a partir do modelo mais parcimonioso contendo as variáveis ..... 44

## Capítulo 2

**Figura 1.** Distribuição atual de *Callithrix* presentes nos quatros quadrantes que representam as localidades dos fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Indivíduo híbrido com caracteres fenotípicos entre *C. geoffroyi* x *C. penicillata*. (B) Indivíduo híbrido entre *C. geoffroyi* x *C. penicillata* e indivíduo de *C. penicillata*. (C) Indivíduo híbrido entre *C. aurita* x *C. penicillata*. (D) Indivíduo com fenótipo de *C. geoffroyi*. (E) Indivíduo com fenótipo de *C. penicillata*. (F) Indivíduo com fenótipo de *C. flaviceps* ..... 80

**Figura 2.** Áreas potenciais de dispersão de *Callithrix* spp. para o Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Fragmentos florestais ocupados por espécies de saguis no entorno do PERD. (B) Superfície de resistência de cada categoria de uso e cobertura da terra para *Callithrix* spp., onde valores mais altos representam maior resistência. (C-E) Rotas de distância de custo entre os fragmentos florestais que atuam como possíveis fontes de introdução de saguis invasores para o PERD, considerando as capacidades máximas de dispersão de 150, 500 e 1000. Localidades mais escuras representam menor custo de dispersão e maior vulnerabilidade de invasão de saguis para o interior do parque ..... 85

### *Considerações finais e recomendações para a conservação do Callithrix aurita*

**Figura 1.** Busca ativa extra realizada no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Indivíduo com caracteres fenotípicos de *C. aurita*. (B) Indivíduo híbrido com fenótipo de *C. aurita* x *C. penicillata* ..... 115

**Figura 2.** Processo de habituação para capturar *Callithrix* spp. no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Plataforma de madeira com iscas (frutos). (B) Plataforma de madeira com armadilhas tipo *Tomahawk*. (C) Plataforma de madeira suspensa com armadilhas tipo *Tomahawk*. (C) Armadilha tipo *Tomahawk* sobre árvores ..... 120



**Figura 3.** Ações de educação ambiental no Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e nas comunidades ao seu entorno, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Palestras presencial realizada para sensibilizar pesquisadores, funcionários e moradores locais. (B) Palestra virtual realizada para a comunidade. Divulgação do projeto em jornal local televisivo (C) e em jornal impresso (D) ..... 122

**Figura 4.** Oficinas de educação ambiental para funcionários e visitantes no Parque Estadual do Rio Doce (A). Atividade interativa “Prosa com o caveirinha”, com exibição de fotos e vocalizações de cada espécie de *Callithrix* (B). Animais taxidermizados, para evidenciar as diferenças fenotípicas entre *C. aurita* e um indivíduo híbrido (C). Atividade de artes “Monte seu caveirinha”, destinada para as crianças pintarem a espécie nativa (D). História sobre o *C. aurita* e as invasões biológicas através do “Contação de causos” (E). “Selfie com a macacada” para interação com os participantes (F). Informações sobre as principais características do *C. aurita* espalhadas pelos pontos turísticos (G). Balas a mostra como forma de atrair e sensibilizar os funcionários e visitantes (H) ..... 124

**Figura 5.** Produtos criados com a ilustração do *C. aurita* para os principais *stakeholders* que atuaram de forma direta no projeto. (A) Camisa e caneca. (B) Boné ..... 125

**Figura 6.** Armadilha fotográfica (A) para visualizar um grupo de *Callithrix* (B) no Parque Estadual do Rio Doce ..... 128

## APÊNDICES

### *Capítulo 2*

**Figura S1.** Distribuição original das espécies de *Callithrix*, localização do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e dos 22 fragmentos florestais ao seu redor, no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil ..... 110

**Figura S2.** Efeito da distância entre cada fragmento e o Parque Estadual do Rio Doce (PERD) na probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. nos fragmentos amostrados no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. A estimativa e os ICs de 95% (linha tracejada) foram obtidos a partir do modelo mais parcimonioso contendo a variável ..... 111

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

**Tabela 1.** Seleção de modelos utilizados para avaliar variáveis que influenciam a abundância ( $\lambda$ ) e a probabilidade de detecção ( $r$ ) de *Callithrix* spp. no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Os modelos foram classificados utilizando o critério de informação de Akaike ajustado para pequenas amostras (AICc), sendo os modelos com  $\Delta \leq 2$  considerados mais parcimoniosos ..... 41

### Capítulo 2

**Tabela 1.** Classes de cobertura e uso do solo, e os valores de permeabilidade de cada categoria utilizados para avaliar os fragmentos potenciais como fonte de *Callithrix* invasores para o Parque Estadual do Rio Doce, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil ..... 78

**Tabela 2.** Resultado dos pesos cumulativos ( $w_+$ ) em ordem decrescente para cada variável usada para avaliar a probabilidade de ocupação ( $\Psi$ ) e de detecção ( $p$ ) de *Callithrix* spp. em fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Os modelos foram classificados usando o critério de informação de Akaike ajustado para pequenas amostras (AICc) e as variáveis com  $w_+ \geq 0,50$  foram consideradas como as mais determinantes para influenciar cada parâmetro ..... 82

## APÊNDICES

### *Capítulo 1*

**Tabela S1.** Valores médios (mín. - máx.) das variáveis utilizadas para modelar a abundância ( $\lambda$ ) e a probabilidade de detecção ( $r$ ) de *Callithrix* spp. no Parque Estadual do Rio Doce, em Minas Gerais, Brasil ..... 64

### *Capítulo 2*

**Tabela S1.** Valores médios (mín. - máx.) das variáveis usadas para modelar a ocupação ( $\Psi$ ) e a probabilidade de detecção ( $p$ ) *Callithrix* spp. em fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil ..... 108

**Tabela S2.** Resultado da seleção de modelos para os 10 modelos principais compostos pelas probabilidades de ocupação ( $\Psi$ ) e de detecção ( $p$ ) de *Callithrix* spp. em fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce, no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Os modelos foram classificados usando o critério de informação de Akaike ajustado para pequenas amostras (AICc) ..... 109

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	23
<b>2. Capítulo 1 - An endangered native species is being replaced by hybrids: the new normal for primate conservation in the Brazilian Atlantic Forest</b> .....	29
ABSTRACT .....	29
<b>2.1. INTRODUCTION</b> .....	31
<b>2.2. METHODS</b> .....	34
<b>2.2.1. Ethical statements</b> .....	34
<b>2.2.2. Study area</b> .....	34
<b>2.2.3. Data collection</b> .....	36
<b>2.2.4. Modeling abundance and detection probability of <i>Callithrix</i> spp. as a function of predictor variables</b> .....	38
<b>2.2.5. Data analysis</b> .....	39
<b>2.3. RESULTS</b> .....	42
<b>2.4. DISCUSSION</b> .....	44
ACKNOWLEDGMENTS .....	49
<b>2.5. REFERENCE</b> .....	50
Supplementary Material .....	64
<b>3. Capítulo 2 – Cercada por invasores: a situação de uma área protegida e a conservação de primatas na Mata Atlântica</b> .....	65
RESUMO .....	65
<b>3.1. INTRODUÇÃO</b> .....	67

3.2.	MÉTODOS .....	71
3.2.1.	Área de estudo .....	71
3.2.2.	Delineamento amostral e coleta de dados .....	72
3.2.3.	Modelando as probabilidades de ocupação e detecção de <i>Callithrix</i> spp. em função de variáveis preditoras .....	74
3.2.4.	Análise de dados da modelagem de ocupação e probabilidade de detecção .....	75
3.2.5.	Avaliando fragmentos vulneráveis à introdução de <i>Callithrix</i> invasores para o Parque Estadual do Rio Doce .....	77
3.3.	RESULTADOS .....	79
3.4.	DISCUSSÃO .....	86
3.5.	REFERÊNCIAS .....	93
	Material Suplementar.....	108
<b>4.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO</b>	
	<b><i>Callithrix</i></b>	
	<b><i>aurita</i></b>	
	.....	112
4.1.	Realizar levantamento populacional em áreas não amostradas .....	113
4.2.	Implementar ações de manejo <i>in situ</i> e <i>ex situ</i> para a espécie nativa .....	116
4.3.	Implementar ações de manejo para as espécies invasoras .....	116
4.4.	Desenvolver ações rotineiras de sensibilização e educação ambiental .....	121
4.5.	Avaliar impactos relacionados às doenças .....	126
4.6.	Incentivar estudos genéticos .....	127
4.7.	Inserir novas abordagens tecnológicas .....	127
4.8.	Desenvolver estratégias de fomento para financiamento das ações e novas parcerias .....	129

<b>4.9.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>129</b>
-------------	--------------------------	------------

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças na paisagem associadas à fragmentação e à perda do habitat, em consequência da intensa atividade antrópica, são as causas mais citadas de extinção das espécies e perda da diversidade biológica (D'Eon *et al.*, 2002; Estrada *et al.*, 2017). Esses processos afetam a riqueza de espécies (Gurd *et al.*, 2001), como também a abundância e a distribuição das populações (Hanski *et al.*, 1996), sobretudo para os primatas neotropicais, por necessitarem de espécies arbóreas para atenderem seus requerimentos ecológicos (Arroyo-Rodríguez e Mandujano, 2009; da Silva *et al.*, 2015). Adicionalmente, essas mudanças na cobertura da paisagem podem favorecer as invasões biológicas (Chiarello, 2000a). Algumas das razões para que espécies alóctones tenham facilidade para invadir e dominar novos habitats é devido às suas adaptações ecológicas, especialmente, a alta plasticidade ambiental e vantagem competitiva, que convergem para favorecer o seu estabelecimento na paisagem, além de dificultar a sobrevivência de populações nativas (Rylands *et al.*, 2009; ICMBio/MMA, 2019).

As invasões biológicas não se restringem apenas às áreas naturais desprotegidas, as Unidades de Conservação (UC) têm sofrido seriamente com as consequências das ameaças das espécies invasoras (Sampaio e Schmidt 2013; ICMBio/MMA, 2019). Essas UC's são importantes por garantir a proteção de ecossistemas raros e/ou por estarem localizadas em regiões de endemismo concentrado (remanescente), conservando a biodiversidade e a manutenção de outros atributos naturais (solo, clima e recursos hídricos), além de oferecer benefícios sociais e econômicos (Leverington *et al.*, 2010). As matrizes da paisagem que circundam essas áreas protegidas são caracterizadas por diferentes tipos de uso e cobertura do solo e, dependendo da sua composição e configuração, podem facilitar o movimento das espécies para dentro e para fora da Unidade de Conservação (Ricketts 2001; Anderson *et al.* 2007; Driscoll *et al.* 2013). Aliado a isso, pelo fato de algumas áreas protegidas serem localizadas próximas de centros urbanos e frequentemente atraírem mais visitantes, esses

espaços estão mais sujeitos a invasões biológicas, necessitando de um monitoramento mais intensivo e frequente (Terborgh, 2003).

Dentre os primatas, três das seis espécies que constituem o gênero *Callithrix*, endêmico do Brasil, contabilizam o maior número de registro de invasões biológicas nos Neotrópicos: *C. jacchus*, *C. penicillata* e *C. geoffroyi* (Rylands *et al.*, 2009; Levacov *et al.*, 2011; Rosa *et al.*, 2020). *C. jacchus* e *C. penicillata* deveriam ocorrer naturalmente no Cerrado, Caatinga e parte da Mata Atlântica do nordeste, já *C. geoffroyi* é originalmente da Mata Atlântica do sudeste (Rylands *et al.*, 2009; Buckner *et al.*, 2015). No entanto, essas espécies estão expandindo sua distribuição para outras áreas da Mata Atlântica, sobretudo para locais de ocorrência natural das outras três espécies do gênero, *C. aurita*, *C. flaviceps* e *C. kuhlii*, que estão ameaçados de extinção (IUCN, 2021, 2022; Port. MMA 148/2022). Geralmente, estas invasões biológicas decorrem do tráfico e soltura indevida de animais silvestres em áreas florestais (Rosa *et al.*, 2020).

As principais ameaças para *C. aurita*, *C. flaviceps* e *C. kuhlii*, que as categorizam em algum grau de ameaça de extinção, é a competição por habitat e recursos limitados com os saguis congêneres alóctones, já que estes últimos apresentam vantagens como a alta plasticidade adaptativa e grande potencial de dispersão, uma vez que são encontrados em diferentes fitofisionomias (Auricchio, 1995; Ruiz-Miranda, 2005; Rylands *et al.*, 2009). Outra grande ameaça em decorrência da coocorrência dos saguis nativos com as espécies congêneres alóctones é o processo de hibridação. Os primatas do gênero *Callithrix* conseguem se reproduzir e gerar descendentes férteis (Fuzessy *et al.*, 2014; Malukiewicz *et al.*, 2015). Essa possibilidade de hibridação gera grande ameaça para populações locais, podendo ocasionar a eliminação de genótipos únicos das espécies nativas e substituição gradual dessas espécies por espécies alóctones (populações híbridas) (Coimbra-Filho *et al.*, 1993; Primack e Rodrigues, 2001; Ruiz-Miranda *et al.*, 2011; Morais *et al.*, 2019).



*Callithrix aurita* é uma das espécies do gênero que mais sofrem devido às invasões de espécies congêneres alóctones. Conhecido popularmente como sagui-da-serra-escuro ou sagui-caveirinha, este primata é endêmico da Mata Atlântica dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais (Rylands *et al.*, 2009, Melo *et al.*, 2021). A espécie habita floresta estacional semidecidual e floresta ombrófila densa, frequentemente com abundância de bambus, emaranhados de cipós e lianas, locais estes que apresentam grande disponibilidade de recurso alimentar e refúgio (Muskin 1983; Brandão e Develey, 1998; Melo *et al.*, 2018). Como os demais calitriquídeos, *C. aurita* possui a dieta baseada em insetos, frutos e gomas, além de uma espécie de fungo encontrada em bambu (Corrêa, 1995). No entanto, essa espécie de primata possui especializações dentárias menos desenvolvidas para a gomivoria em relação aos demais saguis, tornando-o mais especialista no consumo de insetos, sendo este recurso o item alimentar principal da sua dieta (Rylands e Faria, 1993; (Ferrari, 1993; Morais Júnior *et al.*, 2008; da Silva *et al.*, 2015).

A área de vida estimada para *C. aurita* varia entre 11 ha a 39,9 ha (Muskin, 1984; Corrêa, 1995; Brandão, 1999). Além disso, vivem em grupos familiares que variam entre 4 a 11 indivíduos, tendo, geralmente, uma ou no máximo duas fêmeas reprodutivas (Corrêa *et al.*, 2000). A reprodução dessa espécie e das demais do gênero *Callithrix*, pode acontecer duas vezes ao ano, com intervalos de cinco a seis meses entre a gestação gemelar (Stevenson e Rylands, 1988). No entanto, como *C. aurita* é naturalmente menos abundante em sua área de distribuição, em relação aos saguis invasores, a probabilidade de extinção da espécie é maior em longo prazo (Stevenson e Rylands, 1988; Stallings *et al.*, 1991; Melo *et al.*, 2018).

Além de serem sensíveis à fragmentação e à distúrbios antrópicos, *C. aurita* está em um estágio crítico de risco de extinção, especialmente pelo processo de invasão das espécies congêneres alóctones e seus híbridos em Unidades de Conservação (Santos *et al.*, 1983; Cunha, 2003; Pereira *et al.*, 2008; Aximoff *et al.*, 2016; Detogne *et al.*, 2017). Para o estado de Minas

Gerais, a situação dos riscos de hibridação e competição das espécies congêneres invasoras com *C. aurita* é de extrema preocupação, já que há registro desta espécie em apenas três UC's do estado (ICMBio/MMA, 2018), e em três UC's localizadas na divisa entre Minas Gerais e os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo (ICMBio/MMA, 2018). Em decorrência dessas ameaças, a espécie está sofrendo grande redução populacional, estimada em pelo menos 50% em um intervalo de 18 anos (três gerações). Por esse motivo, esse primata foi categorizado como Em Perigo (EN) pela Lista Oficial de Espécies Ameaçadas do Brasil (MMA, 2022) (Ministério do Meio Ambiente), e pela Lista Vermelha da IUCN (Melo *et al.*, 2021). Em 2019, *C. aurita* foi incluído na lista dos 25 primatas mais ameaçados do mundo (Schwitzer *et al.*, 2019) e no Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira (PAN PPMA) (ICMBio/MMA, 2018).

Esse fenômeno de invasão biológica é observado na primeira Unidade de Conservação de Minas Gerais, o Parque Estadual do Rio Doce (PERD), uma das poucas UC's de ocorrência natural de *C. aurita* no estado mineiro (Silva e Carvalho, 2015). Na UC há registros de outras duas espécies de saguis, *C. geoffroyi* e *C. penicillata*, que não ocorriam no parque e, provavelmente, foram introduzidas por solturas de indivíduos traficados (IEF, 2001). A presença das espécies congêneres alóctones no PERD é preocupante pois elas são uma ameaça ao *C. aurita* por estarem em contato ou próximas, podendo causar danos à população local (Rylands e Faria, 1993; Morais Junior *et al.*, 2008). Portanto, estudos que avaliem os fatores que influenciam a probabilidade de ocupação e a abundância das espécies de *Callithrix*, além da identificação de componentes da paisagem que facilitam a entrada e a permanência dessas espécies na área protegida e no seu entorno, são necessários para compreender o processo de invasão biológica e os impactos envolvidos em decorrência disso. Os resultados desses diagnósticos são de suma importância para traçar planos de manejo e de prevenção dos saguis alóctones invasores, e ações de conservação para *C. aurita* (ICMBio/MMA, 2018, 2019). Além

disso, os produtos dessa tese contemplarão ações prioritárias do PAN PPMA e do Plano de Manejo do PERD. Essa tese está dividida em dois capítulos que abordam fatores relevantes sobre as consequências das invasões de saguis alóctones ao *C. aurita* no PERD e em remanescentes ao seu redor.

No primeiro capítulo, avaliamos como as invasões de *C. geoffroyi* e *C. penicillata* afetam a população de *C. aurita* no Parque Estadual do Rio Doce (Figura 1). As invasões dessas espécies alóctones de *Callithrix* já têm sido observadas no PERD desde 1983 (Santos *et al.*, 1983). Esse diagnóstico implica em impactos sobre *C. aurita*, que tem sido pouco registrada no PERD desde 1991 (Stallings *et al.*, 1991) e foi registrada recentemente pela nossa equipe, através de uma busca ativa oportunística. Nenhuma pesquisa sobre as invasões de saguis e os impactos ao *C. aurita* foi realizada no parque até o momento, e o PERD, em particular, é o maior remanescente contínuo de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais. Sendo, portanto, um local de extrema relevância para a conservação do *C. aurita*. Diante disso, avaliar a ocorrência e a estimativa populacional das espécies de *Callithrix* no PERD, são importantes para compreender os impactos das espécies congêneres alóctones sobre a população nativa. A necessidade de pesquisas sobre as invasões de saguis alóctones e suas consequências também foram apontadas por Silva e Carvalho (2015), relatando a importância de realizar intervenções de manejo para *Callithrix* invasores, buscando a preservação da espécie nativa.

No segundo capítulo, avaliamos a ocorrência de saguis congêneres alóctones em fragmentos florestais presentes ao redor do PERD, e quais desses remanescentes podem atuar como fonte de novas introduções de indivíduos para o interior da UC (Figura 1). Compreender a ocupação de *Callithrix*, potencialmente invasores, em fragmentos vizinhos e a permeabilidade dessa paisagem do entorno do PERD, é fundamental para elaborar planos de manejo e estratégias efetivas de conservação para *C. aurita*.

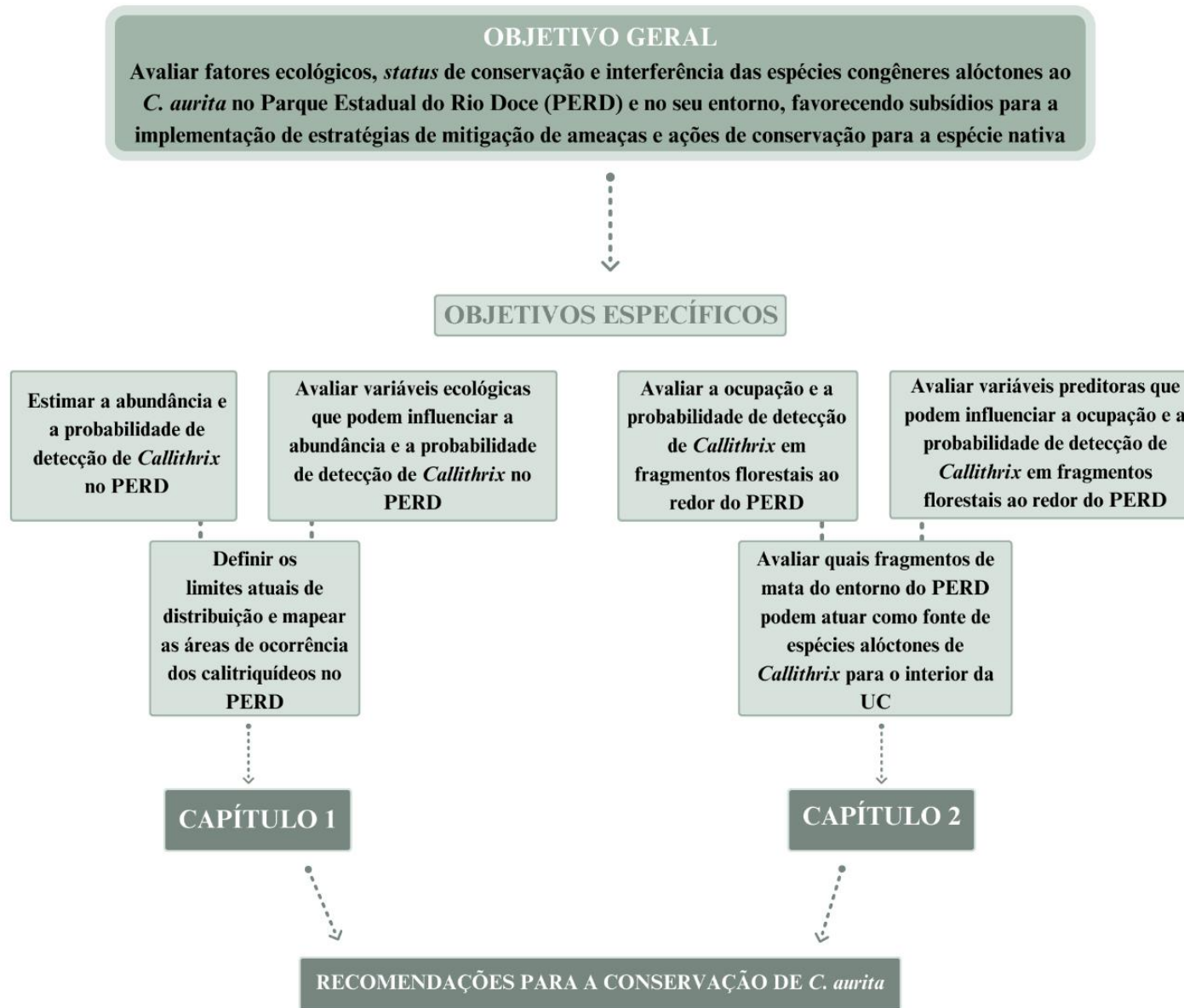


Figura 1 – Esquema com os objetivos e estrutura da tese

## 2. CAPÍTULO 1

### **An endangered native species is being replaced by hybrids: the new normal for primate conservation in the Brazilian Atlantic Forest**

Vanessa de Paula Guimarães-Lopes<sup>1\*</sup>, Natasha Grosch Loureiro<sup>1</sup>, Júlia Simões Damo<sup>1</sup>, Fabiano Rodrigues de Melo<sup>2</sup>, Flávio Henrique Guimarães Rodrigues<sup>1</sup>, Rodrigo Lima Massara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Ecologia de Mamíferos, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brazil

\*Correspondence:

Vanessa de Paula Guimarães-Lopes, Laboratório de Ecologia e Conservação, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, 31270-901, Brazil

E-mail: [vanessaguimaraes@ufmg.br](mailto:vanessaguimaraes@ufmg.br)

#### **Abstract**

Biological invasions can interfere decisively with the dynamics of important ecological processes. For primates of the genus *Callithrix* (marmosets), congener introductions and hybridization represent one of the greatest threats to native species. The Rio Doce State Park (RDSP), in southeastern Brazil, has records of three species of *Callithrix*, the endangered native species *C. aurita*, and two species of introduced marmosets, *C. geoffroyi* and *C. penicillata*. We used the playback method combined with adapted N-mixture models to estimate abundance and detection probability of *Callithrix* spp. in relation to biological variables. We estimated a total

of 139 individuals, resulting in a density of 0.12 ind./ha, all being hybrids, except for one individual of *C. aurita* observed in a group of hybrids. The abundance of *Callithrix* spp. was higher in locations close to the forest edge, possibly due to the high availability of insects and greater availability of shelters in these areas. The detection probability of *Callithrix* spp. correlated positively with precipitation, indicating that greater humidity, as well as greater availability of arthropods, may favor the detection of individuals due to their high foraging activity during these periods. The results of this study show that the unprecedented adaptation of the N-mixture model was effective for estimate abundance and detection probability of acoustically-responsive primates such as species of the genus *Callithrix*. Furthermore, it is evident the critical scenario of biological invasions in RDSP, with serious threats to the native species. We suggest urgent and integrated measures to contribute to the conservation of *C. aurita*, such as a management plan for the few individuals of the native species to conservation centers, ensuring genetic integrity and increasing its population viability.

**Keywords:** Marmosets, Atlantic Forest, alien species, hybridization, occupancy models, imperfect detection

### **Highlights**

The presence of pure groups of the endangered native species *Callithrix aurita* is rare in the largest fragment of Atlantic Forest in Minas Gerais/Brazil.

The population viability of *C. aurita* is threatened by hybridization and competition with invasive species.

The N-mixture model showed effectiveness for estimate abundance and detection probability of *Callithrix* spp.

## 2.1. INTRODUCTION

Brazil is characterized by a considerable variety of ecosystems, in addition to having the greatest diversity of primates on the planet (ICMBio/MMA, 2018). The genus *Callithrix* is endemic to Brazil, comprising exclusively six species of non-Amazonian marmosets: *C. jacchus*, *C. penicillata*, *C. geoffroyi*, *C. aurita*, *C. flaviceps*, and *C. kuhlii* (Rylands et al., 2000; Rylands et al., 2009), being the last three being threatened with extinction (IUCN, 2022; ordinance MMA nº 148/2022).

These species are threatened due to high levels of fragmentation and loss of natural habitats, but also by the introduction of other species of *Callithrix* spp. (Carvalho et al., 2018; Malukiewicz et al., 2021; Melo et al., 2021). Species of the genus, in particular *C. geoffroyi*, *C. jacchus* and *C. penicillata*, have been introduced into different environments as a result of the illegal trade of wild animals in Brazil, including in places of the natural occurrence of endangered callitrichids (Rylands et al., 2009; Malukiewicz, 2019). These biological invasions can interfere decisively with the dynamics of important ecological processes, such as interspecific relationships (e.g., competition due to niche overlap), pathogen transmission, predation of native fauna, and hybridization (Silva et al., 2008; Sales et al., 2010; Ruiz-Miranda et al., 2011; Oliveira & Grelle, 2012; Melo et al., 2015; Carvalho et al., 2018; Malukiewicz, Cartwright et al., 2021). The hybridization process, in the case of the genus *Callithrix*, is capable of generating fertile offspring with intermediate characteristics, due to the phylogenetic proximity among species (Mendes, 1997; Fuzessy et al., 2014; Malukiewicz et al., 2015), causing erosion to the genetic integrity of the involved species (Todesco et al., 2016).

These marmoset invasions and hybridizations occur in many areas of the Atlantic Forest, even in protected areas such as the Rio Doce State Park (RDSP), in southeastern Brazil (Santos et al., 1983; Coimbra-Filho, 1984; IEF, 2001; Pereira et al., 2008; Oliveira & Grelle, 2012;

Detogne et al., 2017; Carvalho et al., 2018; Silva et al., 2018). This park is one of the few protected sites in the state of Minas Gerais with the natural occurrence of *C. aurita* (Mittermeier et al., 1982). However, this population is threatened by the invasion of other allochthonous marmosets, namely *C. geoffroyi* and *C. penicillata*, which did not originally occur within the park. *Callithrix geoffroyi* occurs naturally in other regions of the Atlantic Forest, with the Piracicaba River in the north of the park being its distribution limit, whereas *C. penicillata* occurs in the Cerrado and Caatinga biomes of Brazil. These two species were probably introduced by releases of trafficked individuals (Santos et al., 1983; Coimbra-Filho, 1984; IEF, 2001; Morais Jr. et al., 2008; Ruiz-Miranda et al., 2011). The need for research to evaluate hybridization and competition between the introduced species and the native *C. aurita*, in addition to the consequences for the conservation of *C. aurita*, were indicated in the RDSP Management Plan (IEF, 2001) and in the study by Silva & Carvalho (2015), highlighting the importance of research on these species at this location.

*Callithrix aurita* is currently classified as Endangered (EN) by the Official list of endangered species, under ordinance MMA n° 148 of June 7, 2022 (MMA, 2022) and by the IUCN Red List (Melo et al., 2021). Due to its threatened status and drastic population decline of at least 50% in an interval of 18 years (Melo et al., 2015, 2018, 2021), in 2019 *C. aurita* was included in the list of the 25 most endangered primates in the world (Carvalho et al., 2019), as well as in the National Action Plan for the Conservation of Atlantic Forest Primates and the Maned Sloth (PAN PPMA) (ICMBio/MMA, 2018). *Callithrix geoffroyi* and *C. penicillata* are classified as Least Concern (LC) by the IUCN Red List (Melo et al., 2021; Valle et al., 2021).

The effectiveness of management plans for invasive species and their hybrids, as well as conservation strategies targeting endangered native species, require accurate estimates of the sizes of existing populations. However, a limitation of some studies that estimate abundance is the assumption that the detection of individuals is perfect, which biases estimates of abundance



(Joseph et al., 2009; Kellner & Swihart, 2014). N-mixture models are hierarchical models that allow estimating abundance and evaluating factors that can influence the probability of detecting unmarked individuals, correcting for imperfect detection and/or false absences in abundance estimates (Royle, 2004). This class of models has proven to be robust for estimating the abundance of several taxa, including primate species (Joseph et al., 2009; Froese et al., 2015; Senzaki et al., 2015; Belant et al., 2016; Coelho et al., 2020).

We estimated abundance and detection probability of *Callithrix* spp. in RDSP, in addition to the density and number of groups, using the repeated playback method combined with N-mixture models that we adapted for callitrichids, based on the study by Coelho et al. 2020 for *Callicebus barbarabrownae*. We also evaluated whether ecological variables influence abundance and detection probability of *Callithrix* spp. We expected a positive correlation between the abundance of *Callithrix* spp. and locations closer to forest edges, and secondary forest with denser understory, with tangles of lianas and epiphytes, which are associated with greater availability of natural food resources for marmosets (Rylands & Faria, 1993). We also expected greater abundance of *Callithrix* spp. in locations closer to roads and tourist and urban areas, as these species have greater flexibility to survive in places with higher levels of human interference, which have greater anthropogenic food offered by humans (Stevenson & Rylands, 1988). Finally, we expected that detection probability of *Callithrix* spp. would be positively influenced by increased sampling effort (i.e., a greater number of visits per location), but negatively by increased precipitation and average temperature throughout the sampling of each location, since adverse weather conditions, such as heavy rains and very low or very high temperatures delay the activity of marmosets, consequently causing them to be less detected during these periods (Côrrea, 1995).

## 2.2. METHODS

### 2.2.1. Ethical statements

The research was carried out following national regulations and was conducted under the authorization of the Animal Use Ethics Committee (CEUA) of the Federal University of Minas Gerais (number 256/2018), of the Minas Gerais State Forest Institute (IEF/MG) (number 090/2018) and the Biodiversity Information and Authorization System of the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation and the Brazilian Ministry of the Environment (SISBIO-ICMBio-MMA) (number 59562-1). The search adhered to the American Society of Primatologists (ASP) Principles for the Ethical Treatment of Non-Human Primates.

### 2.2.2. Study area

The Rio Doce State Park (RDSP) is a protected area with 36000 ha in extension, located in the state of Minas Gerais in southeastern Brazil (Figure 1). The park represents the largest remnant of Atlantic Forest in the state and one of the largest in Brazil, in addition to being considered the third largest lake complex in the country, with the Doce and Piracicaba rivers as the main water bodies in the region (IEF, 2001). In addition, PERD is home to a great diversity of Brazilian fauna species, including endemic species in the biome (IEF, 2001). For primates, in addition to the three species of the genus *Callithrix*, there are four other species (*Alouatta guariba clamitans*, *Brachyteles hypoxanthus*, *Callicebus nigrifrons*, and *Sapajus nigritus*); this is equivalent to 25% of all primate species in the Atlantic Forest (IEF, 2001).

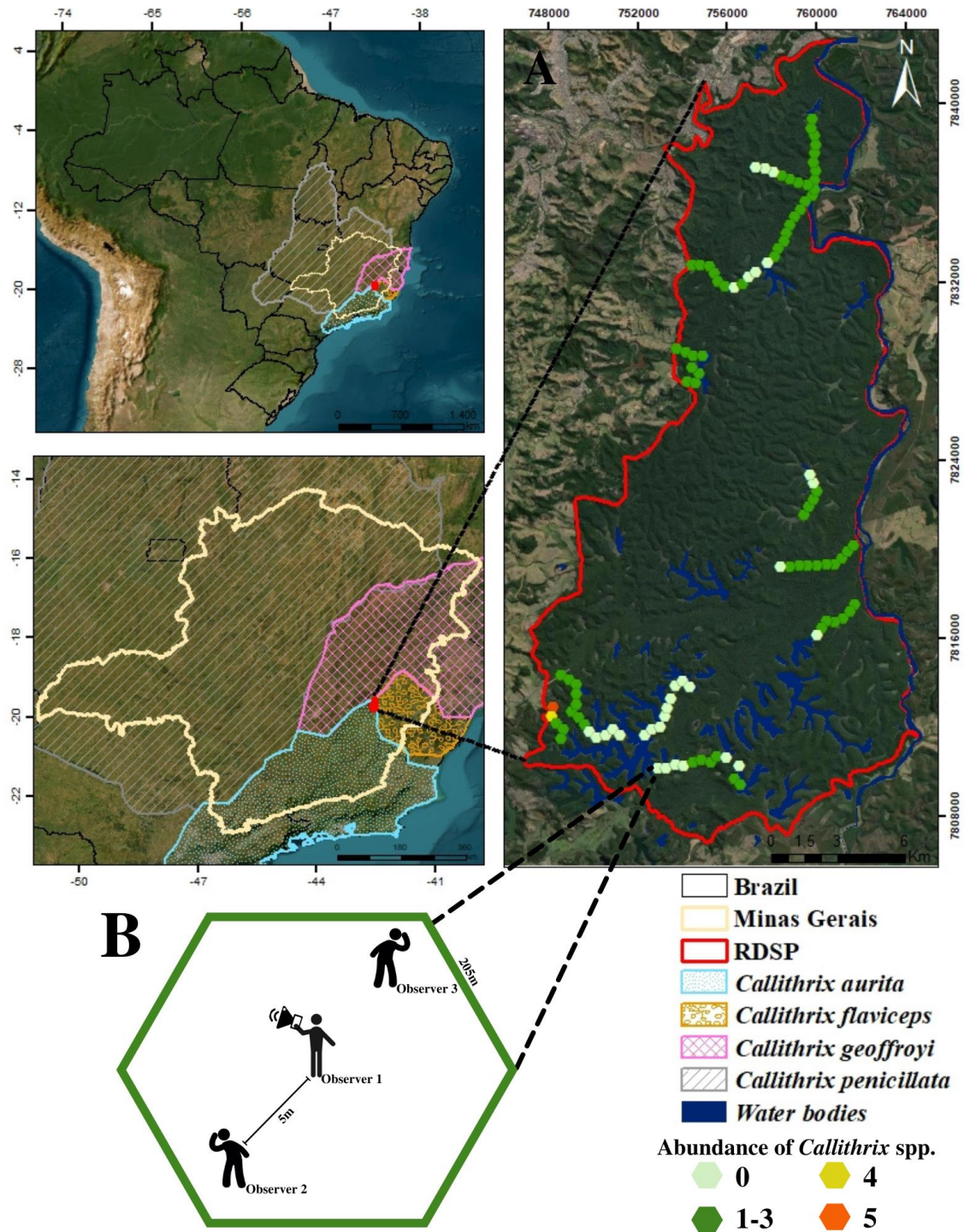


Figure 1 – Original distribution of *Callithrix* species and the location of Rio Doce State Park (RDSP), state of Minas Gerais, southeastern Brazil. (A) Lighter hexagons represent lower abundance while darker hexagons represent higher abundance, based on the most decisive predictor variable for influencing this parameter (i.e., distance to forest edge; Table 1). (B) Hexagonal sampling site (205 m on each side, 11 ha) for playback points for marmosets.

The main phytophysiognomy of the park is submontane seasonal semideciduous forest, which is found in various stages of succession, with altitudes ranging between 230 and 515 m (Gilhuis, 1986; IEF, 2001; Silva & Carvalho, 2015). The climate is humid tropical, with rainfall between October to March and a dry season from April to September (IFMG, 2021). The average annual rainfall for the park is 1075 mm (1001 – 1150 mm) in the wet season, and 200 mm (150 – 250 mm) in the dry season (IFMG, 2021). Average temperatures vary between 22°C and 26°C in the rainy season and 19°C and 22°C in the dry season (IFMG, 2021).

The park is located in a region with a concentration of high industrial activity of stainless steel, eucalyptus monocultures, small agrosilvopastoral properties, and direct pressure from urban expansion (IEF, 2001), highlighting the industrial disaster involving the rupture of an iron ore tailings dam that resulted in one of the biggest environmental disasters in the history of Brazil (Rocha, 2021).

### 2.2.3. Data collection

Sampling sites were randomized in areas accessible by trails and to cover the largest possible area of RDSP. Some regions were not included in the sampling due to difficult access. Therefore, the search for records of *Callithrix* spp. was carried out in the northern, central, and southern regions of the park, for a total of 106 locations (Figure 1A) that were sampled from one to five times between May and October 2021. This sampling period was established to minimize violation of the premise of a closed population of the N-mixture models (Royle, 2004), since it is feasible to assume that during the six months of sampling the number of individuals in the sampled locations remained constant, since callitrichid species are territorial and cohesive (Correa et al., 2000).

Each sampling location was defined as a hexagon (i.e., sampling unit) of 11 ha (0.11 km<sup>2</sup>), with each side measuring 205 m, centered by a call point where playback sessions were

performed (Figure 1B). The 11 ha area for the hexagons was defined considering that: (1) distance from the playback point did not influence the playback point of other hexagons, and (2) it represents the home range of the native *C. aurita* so that only one group could occur within the sampled area (Muskin, 1984; Rylands & Faria, 1993).

For the playback sessions, we used a sound amplifier box with USB input and a rechargeable battery (model: k150 – brand: X Zhang), coupled to a tweeter (i.e., car audio speaker) (brand: Leson). This equipment was defined as standard equipment for *Callithrix* spp. for reproducing high-pitched sounds that are in a frequency between 2 kHz to 20 kHz (II Workshop on Mountain Marmosets Conservation Planning, 2020). We used a long call vocalization of *C. flaviceps*, which can be answered by any congener species. This procedure was previously tested and was successful in our research, as in the study by da Silva et al. (2015). Vocalizations were reproduced for 2.5 minutes (average of 37 seconds in each cardinal direction from the central point: north, south, east, and west), followed by a listening period of 2.5 minutes, and repeated four times, totaling 20 minutes of sampling on each visit. When there was a response to the playback sessions in the first time, the other sessions that were scheduled for that hexagon that day were not carried out. We performed the playback sessions between 6:00 a.m and 1:00 p.m.

Two observers, spaced 5-m apart (Figure 1B), were alert to responses to the playbacks, always maintaining eye contact to agree on the direction of a response. A third observer (Figure 1B) moved to view the group and identify the species. In this way, we carefully avoided counting the same individual twice on the same day using this strategy.

The identification of individuals and the differentiation of species were based on specific distinguishing characteristics described by Vivo (1991). In this way, the appearance of the ear tufts, the color of the pelage of the body, and the face were evaluated. These are the main

phenotypic features considered as a diagnostic for the three species in question, as well as for hybrid individuals among them (Coimbra-Filho, Pissinatti & Rylands, 1993; Fuzessy et al., 2014).

2.2.4. Modeling abundance and detection probability for *Callithrix* spp. as a function of predictor variables

N-mixture models estimate two parameters, which can be modeled as a function of predictor variables:  $r$ , which is the probability of detecting an individual at a sampling point, and lambda ( $\lambda$ ), which is the abundance of individuals at the same sampling point (Royle, 2004).

These models are a type of occupancy model with counts referring to the number of animals observed at each sampling occasion (or visit) at each point (i.e., in our case, hexagon). To calculate the abundance, these models assume that there are  $N$  animals at the sampling point and that the probability of observing one or more animals at the point, conditioned that the point is occupied by one or more animals, is  $1-(1-r)^N$ . The spatial distribution of  $N$  among the sample points follows a Poisson distribution with mean  $\lambda$  (Royle, 2004).

To assess the influence of predictor variables (Table S1) on the abundance of *Callithrix* spp., we randomized five different points within each hexagon and measured biological variables at each one of them during each visit. At each of these points, the closest tree from each cardinal direction from the central point (north, south, east and west) was selected for measurements. We used the average canopy coverage measured in each hexagon, acquired through the mobile application “CanopyApp” version 1.0.4 (University of New Hampshire, 2018), which calculates the percentage of pixels in digital photography based on defined regions of interest to estimate canopy closure. We also averaged the circumferences of trees at breast height, but only for those with a circumference greater than 20 cm, representing mature trees. To evaluate the density of trees in each hexagon we used the proximity index (proxy for

density), which was obtained using the average of distance measurements from each point to the selected trees. We interpret higher values of this index as being a proxy for lower tree density in a hexagon and vice versa. The number of lianas and epiphytes in the selected trees was also quantified so that the predictor variable was the average number of lianas and epiphytes obtained in each hexagon.

To assess whether distance from a playback point (i.e., the centroid of the hexagon) to a forest edge, road, tourist park area, and urban area would also influence the abundance of *Callithrix* spp., we used the tool “generate near table” in ArcGis Map 10.8.1 (ESRI, 2020) (Table S1). The shapefiles of forest edges, tourist areas, roads, and urban areas around the park were obtained from the information contained in RDSP management plan maps (IEF, 2001), and using Google Earth Pro 7.3.4 (Google Earth, 2021) for completion.

To model detection probability, we selected three variables: sampling effort, which corresponds to the number of visits carried out in each hexagon, precipitation and average temperature per hexagon throughout the sampling, obtained from the three meteorological stations that encompass RDSP, namely Caratinga and Timóteo of the National Institute of Meteorology (INMET, 2021), and that of RDSP itself in Marliéria of the National Institute for Space Research-INPE (IFMG, 2021).

Finally, we tested for high correlations ( $|r| > 0.70$ ) (Dormann et al., 2013) among all pairs of predictor variables using Pearson's correlation test, but none were strongly correlated ( $|r| < 0.70$  in all cases).

#### 2.2.5. Data analysis

We constructed a history of individual counts of *Callithrix* spp., containing the number of individuals counted during each occasion (or visit) for each hexagon. Initially, we evaluated

the possible lack of independence (overdispersion;  $\hat{c} > 1$ ) of the records of *Callithrix* spp. among the sampled locations with Pearson's chi-square test using the “AICcmodavg” package (Mazerolle, 2020) of the R program (4.0.3). The test did not reveal overdispersion ( $\hat{c} = 1.6379$ ;  $\chi^2 = 379.8652$ ;  $p = 0.0776$ ).

We built the models in the MARK program (White & Burnham, 1999), using the Akaike Information Criterion corrected for small samples (AICc) to select the most parsimonious model structures ( $\Delta \text{AICc} \leq 2$ ) and, therefore, the more determinant variables for influencing the parameters of interest (Burnham and Anderson, 2002). We used the step-down model selection strategy (Lebreton et al., 1992). First, we fixed a null structure (i.e., only the intercept) for the parameter  $\lambda$  and built different structures from univariate models for the parameter  $r$ . The highest ranked model ( $\Delta \text{AICc} \leq 2$ ), which contained the variable that most influenced  $r$ , was fixed to model the parameter  $\lambda$ , using the same strategy for building univariate models. A total of four models were built for  $r$  and ten models were built for  $\lambda$  (Table 1). Due to the low number of *Callithrix* spp. records, it was not possible to make the model structure more parameterized in  $\lambda$  when modeling  $r$ , but a recent study showed that adopting a more parameterized structure or only the intercept for one of the parameters does not change the final result of selecting the structure of the parameter being modeled (Morin et al., 2020).



Table 1 - Selection of models used to evaluate variables that influence the abundance ( $\lambda$ ) and detection probability ( $r$ ) of *Callithrix* spp. in Rio Doce State Park (RDSP), state of Minas Gerais, southeastern Brazil. Models were classified using the Akaike information criterion adjusted for small samples (AICc) with models having  $\Delta \leq 2$  being considered more parsimonious.

Model	AICc	$\Delta$ AICc	AICc weights	Number of parameters	-2 log (L)
<b>Modeling <math>r</math></b>					
r(prec) $\lambda(\cdot)$	350.32	0.00	0.97	3	344.08
r(temp) $\lambda(\cdot)$	356.98	6.67	0.03	3	350.75
r( $\cdot$ ) $\lambda(\cdot)$	370.03	19.71	0.00	2	365.91
r(sam_eff) $\lambda(\cdot)$	372.12	21.80	0.00	3	365.88
<b>Modeling <math>\lambda</math></b>					
r(prec) $\lambda(\text{dist\_edge})$	321.85	0.00	0.99	4	313.45
r(prec) $\lambda(\text{dist\_tourist})$	341.34	19.49	0.00	4	332.94
r(prec) $\lambda(\text{epi})$	342.17	20.32	0.00	4	333.77
r(prec) $\lambda(\text{dist\_urban})$	345.93	24.09	0.00	4	337.54
r(prec) $\lambda(\text{cbh})$	347.63	25.78	0.00	4	339.24
r(prec) $\lambda(\text{lia})$	348.27	26.42	0.00	4	339.87
r(prec) $\lambda(\cdot)$	350.31	28.47	0.00	3	344.08
r(prec) $\lambda(\text{dist\_road})$	350.78	28.93	0.00	4	342.39
r(prec) $\lambda(\text{cover})$	351.18	29.33	0.00	4	342.79
r(prec) $\lambda(\text{t\_den})$	352.01	30.16	0.00	4	343.61

prec = precipitation, sam\_eff = sampling effort, temp = temperature, cbh = circumferences of trees at breast height, cover = canopy coverage, epi = number of epiphyte, dist\_edge = distance to the forest edge, dist\_road = distance to roads, dist\_tourist = distance to tourist areas, dist\_urban = distance to urban areas, lia = number of lianas, t\_den = density of trees.

To obtain the total abundance of individuals, we summed the estimates for each hexagon. To calculate the density of individuals, we divided the total abundance by the area sampled by all hexagons (1166 ha). Finally, to calculate the number of groups within the sampled area, we divided the total number of individuals by the estimate of the number of individuals per hexagon that best reflected the average number of individuals per group for the genus *Callithrix* according to the literature (Muskin, 1984; Oliveira et al., 2003; Valle et al., 2021).

### 2.3. RESULTS

We obtained a total of 19 records of *Callithrix* spp. in RDSP. Individuals were recorded in four (out of 36) sample sites in the north, one sample site in the center (out of 31), and six (out of 39) sample sites in the south of RDSP.

The observed groups predominantly comprised hybrid individuals that contained phenotypic characters between *C. aurita* x *C. penicillata* (Figure 2A). However, hybrid individuals between *C. penicillata* x *C. geoffroyi* were also seen (Figure 2B). Only one individual with phenotypic characters of pure *Callithrix aurita* was observed during visits to the hexagons. This individual was present in one of the groups observed in the southern region of RDSP and possessed a coat pattern of the native species (Figure 2C). This group also contained hybrid individuals of *C. aurita* x *C. penicillata* and *C. penicillata* x *C. geoffroyi* (Figure 2D). Therefore, due to the inexistence of pure groups of either native or invasive species during the visits, the analysis from the N-mixture models was performed combining all the records of the individuals, which comprised mostly hybrids, the exception being the one individual of *C aurita*.



Figure 2 – *Callithrix* spp. individuals observed in Rio Doce State Park (RDSP), state of Minas Gerais, southeastern Brazil. Hybrid individuals with phenotypic characters between *C. aurita* x *C. penicillata* (A) and between *C. penicillata* x *C. geoffroyi* (B). Individual with phenotypic characters of *C. aurita* (C) in a group composed of hybrid individuals of *C. aurita* x *C. penicillata* and *C. penicillata* x *C. geoffroyi* (D). Pink arrow: hybrid individual of *C. penicillata* x *C. geoffroyi*; red arrow: pure individual of *C. aurita*; yellow arrow: hybrid of *C. aurita* x *C. penicillata*. Photos: Vanessa Guimarães-Lopes.

The abundance of individuals ( $\lambda$ ) was influenced by only one variable: negatively correlated with distance to forest edge (dist\_edge) (Table 1; Figure 3A). The average number of individuals per hexagon was 1.31 (min - max = 0.01 – 5.0), and the total number of individuals, summing the estimates of abundance along hexagons, was 139 (CI-95% = 26.2 – 251.8), resulting in a density of  $139/1166 = 0.12 \pm \text{SE } 0.54$  individuals/ha (95% CI = 0.02 – 0.22). Considering the estimate of group size of five adults for one of our hexagons (5 ind.; CI-95% = 0.67 – 9.33), which best reflected the average number of individuals per group for the genus *Callithrix* according to the literature, we obtained a total of  $139/5 = 27.80$  groups of

*Callithrix* spp. in the entire sampled area. Extrapolating to the entire RDSP (35976 ha), the total abundance of *Callithrix* spp. would be 4289 individuals distributed in 858 groups.

Individual marmoset detection probability ( $r$ ) was positively correlated with precipitation (prec) (Table 1; Figure 3B), and the average detection probability was 0.1 ind./hexagon (95% CI = 0.02 – 0.12).

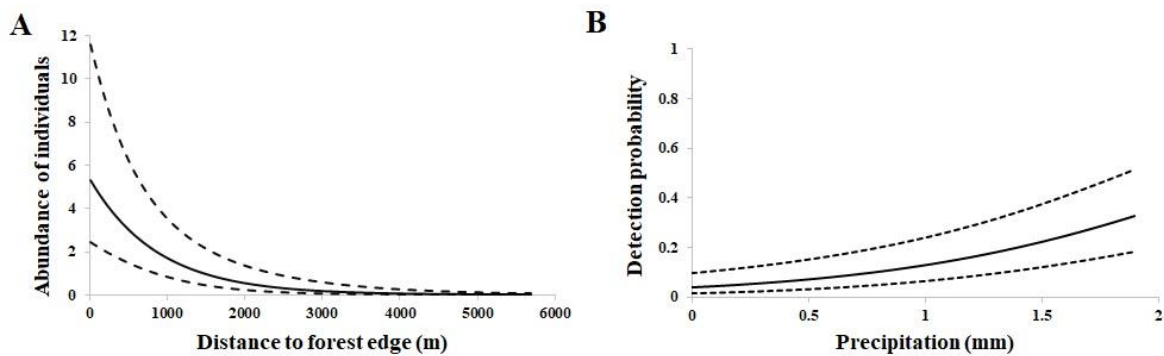


Figure 3 - Effect of distance to forest edge (A) on the abundance (95% CI - dashed lines) of *Callithrix* spp. Effect of precipitation on the detection probability (95% CI - dashed lines) of *Callithrix* spp. (B) in the Rio Doce State Park (RDSP), state of Minas Gerais, southeastern Brazil. Estimates and 95% CIs were obtained from the most parsimonious model containing the variables.

## 2.4. DISCUSSION

Our study estimated that the density of marmosets observed here was higher compared to previous studies carried out in RDSP (Stallings et al., 1991; Hirsch, 1995), highlighting mainly the high density of hybrids. Thus, given this current scenario, it is assumed that the native species *C. aurita* has experienced a large reduction in population size, while hybrid populations have increased considerably, mainly in the southern region of RDSP but also spreading to the central and northern regions.

The introduction of allochthonous congeners *C. geoffroyi* e *C. penicillata* had already been recorded in the first primate survey carried out in RDSP (Santos et al., 1983). Later studies

continued to observe the presence of invasive congeners, however, they also began to record hybrid individuals of the three species of *Callithrix* (Coimbra-Filho, 1984; Stallings et al., 1991; Hirsch, 1995; Hirsch et al., 1996; Hirsch, 2003). Stallings et al. (1991) recorded the density of hybrid marmosets in areas of secondary forest (0.47 ind./km<sup>2</sup>) and of *C. aurita* both in regions of secondary forest (0.02 ind./km<sup>2</sup>) and in two primary areas (0.08 ind./km<sup>2</sup> and 0.03 ind./km<sup>2</sup>) of RDSP. Hirsch (1995) observed two groups with hybrid individuals in the southern region of the park, one consisting of six hybrid individuals of *C. penicillata* x *C. aurita* (0.031 ind./ha and 0.054 ind./ha - estimate obtained by two observers), and the other containing five hybrid individuals of *C. penicillata* x *C. geoffroyi*. The same author also observed a group composed of eleven individuals of *C. penicillata* (0.036 ind./ha and 0.096 ind./ha - estimate obtained by two observers) and a group of *C. aurita* composed of six individuals. These allochthonous congeneric species may have been introduced in the park as a result of the release of wild animals rescued by local environmental agencies, quite possibly due to the wild animal trafficking, since the park is close to one of the main trafficking routes in southeastern Brazil (Silva, 2014; Loureiro et al., 2019).

The presence of mixed groups containing marmoset hybrids reflects the advance of invasive species *C. geoffroyi* and *C. penicillata* in RDSP and exposes the genetic erosion of the population of *C. aurita* in the area, facilitating hybridization, backcrossing, and introgression. This process of hybridization is one of the main threats currently affecting *C. aurita* (Carvalho et al., 2018, 2019; Melo et al., 2021). Groups containing only hybrids, as is the case for most groups observed in this study, may reflect much older hybridizations without continued genetic input from the parental species (Coimbra-Filho, Pissinatti & Rylands, 1993; Malukiewicz et al., 2015). On the other hand, groups that contain non-hybrid and hybrid individuals are consistent with a recent formation of the group, especially when there are families of the native species nearby (Pereira, 2010). This latter hypothesis may also reflect the current situation in RDSP,

considering that we found an individual with phenotypic characters of *C. aurita* in a group of hybrid individuals (Figure 2D). Although the presence of a group of *C. aurita* was observed in the center of the park during an opportunistic active search performed outside the standardized sampling of this study, it assumes that the probability of occurrence of this population is very low in relation to invasive species, corroborating the serious scenario identified in this study. This approach highlights the need for further research in other areas of the park that were not initially contemplated, to better understand the population size of this species throughout the park.

Of the evaluated variables, only distance to forest edge influenced the abundance of *Callithrix* spp. As expected, there was a greater abundance of individuals near forest edges. It is well known that *Callithrix* species adapt well to and prefer secondary growth forest regions in different stages of succession and edge habitat (Rylands, 1982; Stevenson & Rylands, 1988; Rylands, 1996; Rylands & Faria, 1993). These habitats have dense vegetation with tangles of lianas and/or bamboo, making them more favorable for marmoset hiding and protection from predators (Olmos & Martuscelli, 1995; Rylands, 1996). Secondary forest and forest edge also provide a richer habitat for callitrichids, as they possess an abundance of prey for these species, in addition to facilitating movement and having fewer potential competitors, especially other primates (Rylands, 1989; Rylands & Faria, 1993; Goldizen et al., 1996; Rylands, 1996; Raboy & Dietz, 2004).

The other evaluated variables (i.e., number of epiphytes and lianas, canopy cover, tree circumference at breast height, and tree density) did not influence abundance of *Callithrix*. One explanation for this may be due to the considerable ecological flexibility of these primates, which allows them to successfully adapt to different forest typologies (Vilela & Faria, 2004; Sales et al., 2016; Grande et al., 2020). Equally, the anthropic variables (i.e., distance to the tourist areas of the park, urban areas, and roads) did not influence the abundance of *Callithrix*

spp., indicating that regardless of the distance from the sampling points to roads, urban and tourist areas within the park, the abundance of marmosets was the same. However, due to logistical constraints, we could not sample some locations within the park, and thus, we recommend future studies to obtain more sampling sites along the RDSP, including areas that require greater effort and field time to access, and thus evaluate more effectively whether or not these variables influence the abundance of *Callithrix* spp.

The other results of our research indicate, contrary to expectations, that marmosets are more frequently detected during periods of greater precipitation. This positive relationship may be associated with more favorable atmospheric humidity on rainier days (Côrrea, 1995), although rainfall was low and did not change much over the sampling period (maximum of 1.9 mm). In addition, another factor that may be related to the greater detection of these primates during this period is the abundance of arthropods. According to Janzen (1973), insect abundance is highly sensitive to precipitation levels and, consequently, there is significant movement of insects to wetter refuges and to milder areas during the dry season and a reduction of individuals in areas with a severe dry season. Thus, the greater detectability of marmosets found here may have been due to their high foraging activity during periods with greater precipitation and, therefore, greater availability of insects.

It is worth noting that, in general, the detection probability was low, which may also be related to the lower availability of fruits and insects during the sampled period (dry season). These animals increase foraging activity as a strategy to face resource scarcity and, consequently, use larger areas, which decreases their visualization and response to playback (Passamani & Rylands, 2000). On the other hand, the locomotion of some callitrichids is known to be lower during the dry season, which may be attributed to gummivory leading them to remain in certain places for scarification activities (Côrrea, 1995). This strategy is typical of the “time minimization” model (Schoener, 1971), in which an animal reduces its activity time

during the dry season as a way of “saving” energy, thus reducing its detection. Allied to this, the high density of understory presents in some regions within RDSP may have influenced negatively the propagation of playback sound (Soares et al., 2011).

The irregularity of the terrain, as well as the difficulty of entering some locations in RDSP may have made it difficult to visualize individuals, especially those that were present but did not respond to playback. Other studies carried out in RDSP also indicated low detection probabilities for marmosets (Santos et al., 1983; Stallings et al., 1991; Hirsch, 1995). According to these authors, despite the park being one of the few preserved places with a great diversity of primates in the state, the frequency of their observation is low, except for *S. nigritus*. A recommendation for increasing the probability of detecting individuals, and thus increasing the accuracy of abundance estimations per point, would be to increase search and playback time at each sampling point, in addition to including samples covering the different seasons of the year.

Considering the seriousness of the situation of biological invasions for the native *C. aurita* of RDSP, as well as its low detectability, we suggest implementing measures integrated into PAN PPMA, such as managing the population of *C. aurita*, with the translocation of the few remaining individuals to conservation centers with the aim of ensuring genetic integrity and increasing *ex-situ* population viability (ICMBio/MMA, 2018). Meanwhile, actions for the management, control, and eradication of allochthonous and hybrid marmosets, identified as priorities due to these animals being in a protected area, must be developed to prevent new colonization and genetic mixing between species, in addition to enabling future reintroductions of the native species into the area (ICMBio/MMA, 2018). Similar population assessments in other areas of the RDSP that were not covered in this study are necessary to confirm the total population size of *C. aurita* in the park. Furthermore, similar diagnosis of the presence of these marmosets should also be carried out in surrounding forest fragments, which can act as sources of individuals for invasion into the park. Allied to this, environmental education measures and



training of environmental public agents must be undertaken to prevent the inappropriate release of allochthonous marmosets (ICMBio/MMA, 2018).

The present study is the first initiative that used the playback method combined with N-mixture models that were adapted to estimate abundance and detection probability of *Callithrix* spp. - native, invasive species and hybrids - in Brazil (being the Rio Doce State Park a first pilot project), and proved to be effective and useful to sample populations of acoustically responsive species such as *Callithrix* sp. The results of this study also provide information that can be applied in other protected areas that face the same challenges with biological invasions and the presence of hybrids, to contribute to the conservation of endangered marmoset species, as is also the case with *C. flaviceps*.

**ACKNOWLEDGMENTS:** The authors are grateful to the Rio Doce State Park team for helping with fieldwork. Everyone who contributed to the progress of the research, especially Betoca de Paula, Eduardo Melo, Grazi Guimarães, Lucas Barreto, Marcélio Cunha, Júlia Winklers, and Guilherme Andrade. This study was financed by The Rufford Foundation and Rewild. We would like to thank Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES for the scholarship received during this study by the main author and RLM, and National Council to Scientific Research – CNPq for research grant to FHGR.

**CONFLICT OF INTERESTS:** The authors declare that there are no conflicts of interests.

**DATA AVAILABILITY STATEMENT:** The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

**SUPPORTING INFORMATION:** Additional Supporting Information may be found online in the supporting information tab for this article.

**ORCID:** Vanessa de Paula Guimarães-Lopes: 0000-0003-0978-406X

## 2.5. REFERENCE

- Allendorf, F., Leary, R., Spruell, P., & Wenburg, J. K. (2001). The problems with hybrids: setting conservation guidelines. *Tree*, 16:613–22.
- Baack, E.J., & Rieseberg, L.H. (2007). A genomic view of introgression and hybrid speciation. *Current Opinion in Genetics & Development*, 17, 513–518.
- Belant, J., Bled, F., Wilton, C., Fymagwa, R., Mwampeta, S.B., & Beyer, D.E. (2016). Estimating Lion Abundance using N-mixture Models for Social Species. *Scientific Reports*, 6, 35920. <https://doi.org/10.1038/srep35920>.
- Burnham, K.P., & Anderson, D.R. (2002). Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretical Approach. *Springer Verlag*, New York. 488p.
- Carvalho, R. S. (2015). Conservação do saguis-da-serraescuro (*Callithrix aurita* (Primates)) - Análise molecular e colormétrica de populações do gênero *Callithrix* e seus híbridos. [Unpublished doctoral dissertation]. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Carvalho, R.S., Bergallo, H.G., Cronemberger, C., Guimarães-Luiz, T., Souza, C.A.I., Jerusalinsky, L., Knogge, C., Lacerda, W.R., Malukiewicz, J., Melo, F.R., Moreira, S.B., Pereira, D.G., Pissinatti, A., Port-Carvalho, M., Ruiz-Miranda, C.R., & Wormell, D. (2018). *Callithrix aurita*: a marmoset species on its way to extinction in the Brazilian Atlantic Forest. *Neotrop Primates*, 24:1–8.
- Carvalho, R.S., Fransen, S.J., Valença-Montenegro, M.M., Dunn, N.J., Igayara-Souza, C.A., Port-Carvalho, M., Wormell, D., Melo, F.R., Silva, A., Lacerda, W.R., Jerusalinsky, L. (2019). Buffy-tufted-Ear Marmoset *Callithrix aurita* (É. Geofroy Saint-Hilaire, 1812). IN: Schwitzer, C., Mittermeier, R.A., Rylands, A.B., Chiozza, F., Williamson, E.A., Byler, D., Wich, S., Humle, T., Johnson, C., Mynott, H., McCabe, G.(eds.), *Primates in Peril: The World's 25 Most*

Endangered Primates 2018–2020, pp. 24-27. IUCN SSC Primate Specialist Group, International Primatological Society, Global Wildlife Conservation, and Bristol Zoological Society, Washington, DC.

Carvalho, R.S., Silva, D.A., Loiola, S., Pereira, D.G., Carvalho, E. F. & Bergallo, H.G. (2013). Molecular identification of a buffy-tufted-ear marmoset (*Callithrix aurita*) incorporated in a group of invasive marmosets in the Serra dos Órgãos National Park, Rio de Janeiro – Brazil. *Forensic Sci. Int.: Genetics Supplement Series*, 4: 230–231.

Coelho, I.P, Collins, S.J., Santos Junior, E.M., Valença-Montenegro, M.M., Jerusalinsky, L. & Alonso, A.C. (2020). Playback point counts and N-mixture models suggest higher expected abundance of the critically endangered bold titi monkey in Northeastern Brazil. *American Journal of Primatology*, 82(5), e23126. <https://doi.org/10.1002/ajp.23126>.

Coimbra-Filho, A.F. (1984). Situação atual dos calitriquídeos que ocorrem no Brasil. p. 15-33. In: M.T. de Mello (cd.), *A Primatologia no Brasil*. Sociedade Brasileira de Primatologia, Brasília, D.F.

Coimbra-Filho, A.F. (1991). Apontamentos sobre *Callithrix aurita* (E. Geoffroy, 1812), um sagüi pouco conhecido (Callithrichidae, Primates). In: Rylands, A.B., Bernardes, A.T. *A primatologia no Brasil-3*. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas para a Conservação da Diversidade Biológica, p.145-158.

Coimbra-Filho, A.F., Pissinati, A., & Rylands, A.B. (1993). 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: Oxford University Press, p.95-122.

Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their

Côrrea, H.K.M. (1995). Ecologia e Comportamento Alimentar de um Grupo de Saguis-da-Serra-Escuros (*Callithrix aurita* E Geoffroy 1812) no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, São Paulo. 92f. [Unpublished master dissertation]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Côrrea, K.M.; Coutinho, P.E.G., & Ferrari, S.F. (2000). Between-year differences in the feeding ecology of highland marmosets (*Callithrix aurita* and *Callithrix flaviceps*) in south-eastern Brazil. *Journal of Zoology*, London, 252: 421-427.

da Silva, L.G., Ribeiro, M.C., Hasui, É., da Costa, C.A., & da Cunha, R.G.T. (2015). Patch Size, Functional Isolation, Visibility and Matrix Permeability Influences Neotropical Primate Occurrence within Highly Fragmented Landscapes. *PLoS ONE* 10(2): e0114025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114025>.

Digby, L.J., Ferrari, S.F., & Saltzman, W. (2007). Callitrichines: the role of competition in cooperatively breeding species. In: Campbell CJ, Fuentes A, MacKinnon KC, et al. (Ed.), *Primates in perspective*. NY: Oxford University Press, pp. 85–106.

Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J.R.G.,

ESRI (2020). Arcgis version 10.8.1 *Environmental Systems Research Institute*. Redlands, California, USA.

Fonseca, G.A.B., Lacher, T.E. Jr, Alves, C. Jr., & Magalhães-Castro, B. (1980). Some ecological aspects of free-living black tufted-ear marmosets (*Callithrix jacchus penicillata*). *Antropologia Contemporâneo*, 3:197.

Froese, G. Z., Contasti, A. L., Mustari, A. H. & Brodie, J. F. (2015). Disturbance impacts on large rain-forest vertebrates differ with edge type and regional context in Sulawesi, Indonesia. *J. Trop. Ecol.*, 31, 509–517.

Fuzessy, L. F., de Oliveira Silva, I., Malukiewicz, J., Silva, F. F. R., do Carmo Pônzio, M., Boere, V., & Ackermann, R. R. (2014). Morphological variation in wild marmosets (*Callithrix penicillata* and *C. geoffroyi*) and their hybrids. *Evolutionary Biology*, 41(3), 480–493.

Gilhuis, J.P. (1986). *Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil*. [Unpublished master dissertation]. Agricultural University of Wageningen, Netherlands. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Goldizen, A.W., Mendelson, J., Van Vlaardingen, M., & Terborgh, J. (1996). Saddle-back tamarin (*Saguinus fuscicollis*) reproductive strategies: Evidence from a 13 year study of a marked population. *American Journal of Primatology*, 38:57-83.

Google Earth (2021). *Google Earth Pro* version 7.3.4. Software, USA.

Grande, T. O., Alencar, R. M., Ribeiro, P. P., & Melo, F. R. (2020). Fragment shape and size, landscape permeability and fragmentation level as predictors of primate occupancy in a region of Brazilian Cerrado. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 42(1), e48339. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v42i1.48339>.

Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P.J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P.E.,

Hershkovitz, P. (1977). Systematics, Evolution and Biology of the families Callitrichidae and Callimiconidae. In: *Living new world monkeys*. London: The University of Chicago, p. 397-567.

Hirsch, A. (1995). Censo de *Alouatta fusca Geoffroy*, 1812 (Platyrrhini, Atelidae) e qualidade do habitat em dois remanescentes de Mata Atlântica em Minas Gerais. [Unpublished master dissertation]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Hirsch, A. (2003). Avaliação da Fragmentação do Habitat e Seleção de Áreas Prioritárias para a Conservação dos Primatas da Bacia do Rio Doce, Minas Gerais, Através da Aplicação de um

Sistema de Informações Geográficas. [Unpublished doctoral dissertation]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Hirsch, A.; Toledo, P.P.; Brito, B.F.A de & Rylands, A.B. (1996). Levantamento e "Status" de Conservação de Primatas em Remanescentes de Mata Atlântica nos Vales dos Rios Doce, Manhuaçu e Piracicaba. *Relatório Técnico Final*. FUNDEP/UFMG and FAPEMIG. <http://doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>.

ICMBio/MMA – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade/ Ministério do Meio Ambiente. (2018). Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-coleira (PAN PPMA). Portaria nº 702/2018, Brasília.

IEF-Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. (2001). Plano de manejo do Parque Estadual do Rio Doce. <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/306>.

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais/IFMG. (2021). Boletim CLIMAPERD, Edição Especial - v.01, n.10 - Set/2021 – Governador Valadares: Brazil.

Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil/INMET. (2021). Normais Climatológicas. Brasília, Brazil.

Janzen, D.H. (1973). Sweep samples of tropical foliage insects: effects of seasons, vegetation types, elevation, time of day and insularity. *Ecology* 54: 687±708.

Joseph, L.N., Elkin, C., Martin, T.G., & Possingham, H.P. (2009). Modeling Abundance Using N-Mixture Models: The Importance of Considering Ecological Mechanisms. *Ecological Society of America*, v. 19, n. 3, p. 631–642.

Kellner, K. F., & Swihart, R. K. (2014). Accounting for imperfect detection in ecology: A quantitative review. *PLOS One*, 9(10):e111436. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111436>

Lebreton, J.D., Burnham, K.P., Clobert, J., & Anderson, D.R. (1992). Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecological Monographs*, v. 62, n. 1, p. 67–118.

Loureiro, N.G.; Damo, J.S.; Rodrigues, F.H.G. (2019). Avaliação da presença de espécies de *Callithrix* (Mammalia: Callitrichidae) no Parque Estadual do Rio Doce pelos funcionários e população do entorno. In: XVIII Congresso Brasileiro de Primatologia. Teresópolis. Resumos do XVIII Congresso Brasileiro de Primatologia: Sociedade Brasileira de Primatologia.

Malukiewicz, J. (2013). Hybridization and speciation in common and black-tufted marmosets (*Callithrix jacchus* and *C. penicillata*). [Unpublished doctoral dissertation]. Arizona State University, Tempe, Arizona.

Malukiewicz, J. (2019). A review of experimental, natural, and anthropogenic hybridization in *Callithrix* marmosets. *Int J Primatol.*, 40:72–98. <http://doi.org/10.21800/2317-66602018000400014>.

Malukiewicz, J., Boere, V., Fuzessy, L.F., Grativol, A.D., Silva, O.I., Pereira, L.C.M, Ruiz-Miranda, C.R., Valença, Y.M., & Stone, A.C. (2015). Natural and anthropogenic hybridization in two species of Eastern Brazilian marmosets (*Callithrix jacchus* and *C. penicillata*). *PLoS One.*, 10(6):e0127268. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0127268>.

Malukiewicz, J., Cartwright, R.A., Curi, N.H.A., Dergam, J.A., Igayara, C.S., Moreira, S.B., Molina, C.V., Nicola, P.A., Noll, A., Passamani, M., Pereira, L.C.M., Pissinatti, A., Ruiz-Miranda, C.R., Silva, D.L., Stone, A.C., Zinner, D., & Roos, C. (2021). Mitogenomic phylogeny of *Callithrix* with special focus on human transferred taxa. *BMC Genomics*, 22, 239. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07533-1>.

Mazerolle, M. J. (2021). *AICcmodavg: Model selection and multimodel inference based on (Q)AIC(c)*. [S.l.]: R package.

Melo, F.R., Ferraz, D.S., Valença-Montenegro, M.M., Oliveira, L.C., Pereira, D.G. & Port-Carvalho, M. (2015). Avaliação do risco de extinção de *Callithrix aurita* (É. Geoffroy, 1812) no Brasil. *Processo de avaliação do risco de extinção da fauna brasileira*. ICMBio. Brazil.

Melo, F.R., Ferraz, D.S., Valença-Montenegro, M.M., Oliveira, L.C., Pereira, D.G. & Port-Carvalho, M. (2018). *Callithrix aurita*. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II - Mamíferos. Brasília: ICMBio. p. 206-213.

Melo, F.R., Pereira, D.G., Kierulff, M.C.M., Bicca-Marques, J.C. & Mittermeier, R.A. 2021. *Callithrix geoffroyi* (amended version of 2018 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T3572A191701212. Available in: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T3572A191701212.en>.

Melo, F.R., Port-Carvalho, M., Pereira, D.G., Ruiz-Miranda, C.R., Ferraz, D.S., Bicca-Marques, J.C., Jerusalinsky, L., Oliveira, L.C., Valença-Montenegro, M.M., Valle, R.R., da Cunha, R.G.T. & Mittermeier, R.A. (2021). *Callithrix aurita* (amended version of 2020 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T3570A191700629. Available in: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T3570A191700629.en>.

Mendes, S.L. (1997). Padrões biogeográficos e vocais em *Callithrix* do grupo *jacchus* (Primates, Callithricidae). [Unpublished doctoral dissertation]. Universidade Estadual de Campinas.

Melo, F.R., Hilário, R.R., Ferraz, D.S., Pereira, D.G., Bicca-Marques, J.C., Jerusalinsky, L., Mittermeier, R.A., Ruiz-Miranda, C.R., Oliveira, L. & Valença Montenegro, M.M. (2021). *Callithrix flaviceps* (versão alterada da avaliação de 2020). *A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN* 2021:



e.T3571A191700879. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20211.RLTS.T3571A191700879>.

en.

Mittermeier, R.A., Coimbra-Filho, A.F., Constable, I.D., Rylands, A., & Vale, C. (1982). Conservation of primates in the Atlantic forest region of Eastern Brazil. *Int Zoo Yearb*, 22:2–17.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2022). Portaria nº148, de 07 de junho de 2022. Diário Oficial da União, Seção 1, DOU 108 de 08 de junho de 2022, p.74.

Morais Júnior, M.M., Ruiz-Miranda, C.R., Grativol, A.D., Andrade, C.C., Lima, C.S., Martins, A., & Beck, B.B. (2008). Os sagüis, *Callithrix jacchus* e *penicillata*, como espécies invasoras na região de ocorrência do mico-leão dourado. In: Oliveira, P. P.; Grativol, A. D.; Ruiz-Miranda, C. R. (eds.) Conservação do mico-leão-dourado: Enfrentando os desafios de uma paisagem fragmentada. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Centro de Biociências e Biotecnologia; Laboratório de Ciências Ambientais, pp: 86-117.

Morin, J.D., Yackulic, C.B., Diffendorfer, J.E., Lesmeister, D.B., Nielsen, C.K., & Schaubert, J.R.E.M. (2020). Is your ad hoc model selection strategy affecting your multimodel inference? *Ecosphere*, 11 (1), art. no. e02997.

Muskin, A. (1984). Field notes and geographic distribution of *Callithrix aurita* in eastern Brazil. *American Journal of Primatology*, 7: 377-380.

Nogueira, D.M., Ferreira, A.M.R., Goldschmidt, B., Pissinatti, A., Carelli, J.B., & Verona, C.E. (2011). Cytogenetic study in natural hybrids of *Callithrix* (Callitrichidae: Primates) in the Atlantic Forest of the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Iheringia, Serie Zool.* 101 (3): 156–160.

Nogueira, D.M., Ferreira, A.M.R., Goldschmidt, B., Pissinatti, A., Carelli, J. B., & Verona, C.E. (2011). Cytogenetic study in natural hybrids of *Callithrix* (Callitrichidae: Primates) in the

Atlantic Forest of the state of Rio de Janeiro, Brazil. *Iheringia: Série Zoologia*, 101(3), 156–160.

Nunes, N.D. (2015). O sagui-da-serra-escuro (*Callithrix aurita*) e os saguis invasores no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ, Brasil: Distribuição espacial e estratégias de conservação. [Unpublished masters dissertation]. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Oliveira, L.C., & Grelle, C.E.V. (2012). Introduced primate species of an Atlantic Forest region in Brazil: present and future implications for the native fauna. *Tropical Conservation Science*, 5(1):112–20. <http://doi.org/10.1177/194008291200500110>.

Oliveira, L.deC.; Câmara, E.M.V.C.; Hirsch, A.; Paschoal, A.M.O.; Alvarenga, R.M. & Belarmino, M.G. (2003). *Callithrix geoffroyi* (Primates Callitrichidae) and *Alouatta caraya* (Primates: Atelidae) in the Serra do Cipó National Park, Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Primates*, 11 (2): 86-89.

Olmos, F., & Martuscelli, P. (1995). Habitat and distribution of buffy tufted-ear marmoset *Callithrix aurita* in São Paulo State, Brazil, with notes on its natural history. *Neotropical Primates*, 3(3):75-79.

Passamani M, & Rylands AB. (2000). Home range of a Geoffroy's marmoset group, *Callithrix geoffroyi* (Primates, Callitrichidae) in South-Eastern Brazil. *Rev. Brasil. Biol.*, 60:275–81. <http://doi.org/10.1590/s0034-71082000000200011>.

Passamani, M., Agular, L., Machado, R.B., & Figueirido, E. (1997). Hybridization between *Callithrix geoffroyi* and *C. penicillata* in southern Minas Gerais, Brazil. *Neotropical Primates.*, 5: 9–10.

Pereira, D.G. (2006). Calitriquídeos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ: interações entre espécies exóticas invasoras e espécies nativas. [Unpublished masters dissertation]. Universidade Federal Fluminense, Niterói.

Pereira, D.G. (2010). Densidade, genética e saúde populacional como ferramentas para propor um plano de controle e erradicação de invasão biológica: o caso de *Callithrix aurita* (Primates) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ, Brasil. [Unpublished doctoral dissertation]. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Pereira, D.G., Oliveira, M.E.A., & Ruiz-Miranda, C.R. (2008). Interações entre calitriquídeos exóticos e nativos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ. *Revista Espaço & Geografia* 11(1): 67–94.

Raboy, B.E., & Dietz, J.M. (2004). Diet, foraging and use of space in wild Golden-Headed Lion Tamarins. *American Journal of Primatology*, 63: 1-15.

Rocha, L. C. (2021). As Tragédias de Mariana e Brumadinho: É Prejuízo? Para Quem? *Caderno de Geografia*, 31(1), 184-195. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2021v31nesp1p184>.

Royle, J.A. (2004). N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. *Biometrics*, 60, 108–115 (2004).

Ruiz-Miranda, C. R., Morais Júnior, M. M., Paula, V. R., Grativol, A. D., & Rambaldi, D. M. (2011). Vítimas e vilões: o problema dos saguis introduzidos no Rio de Janeiro. *Ciência Hoje*, 48: 44-49.

Ruiz-Miranda, C.R., Affonso, A.G., Morais, M.M., Verona, C.E., Martins, A., & Beck B. (2006). Behavioral and ecological interactions between reintroduced golden lion tamarins (*Leontopithecus rosalia* Linneaus, 1766) and introduced marmosets (*Callithrix spp.*, Linneaus, 1758) in Brazilian Atlantic Coast Forest fragments. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49, 99-109.

Rylands AB, & Faria DS. (1993). Habitats, feeding ecology, and home range size in the genus *Callithrix*. In: Rylands, A.B, (Eds). *Marmosets and Tamarins: Systematics, Behaviour, and Ecology*. Oxford: Oxford University Press, p. 262–72.

Rylands, A. B., Schneider, H., Langguth, A., Mittermeier, R. A., Groves, C., & Rodríguez-Luna, E. (2000). An assessment of the diversity of New World primates. *Neotropical Primates* 8:61-93.

Rylands, A.B. (1982). The behaviour and ecology of three species of marmosets and tamarins (Callitrichidae, Primates) in Brazil. [Unpublished doctoral dissertation]. University of Cambridge.

Rylands, A.B. (1984). Exudate-eating and treegouging by marmosets (Callitrichidae, Primates). Pp. 155-168 in *Tropical Rain Forest: The Leeds Symposium*. A.C. Chadwick; S.L. Sutton (Eds.) Leeds, *Leeds Literary and Philosophical Society*.

Rylands, A.B. (1986). Ranging behavior and habitat preference of a wild marmoset group, *Callithrix humeralifer* (Callitrichidae-Primates). *Journal Zoological of London*, 210: 1-26.

Rylands, A.B. (1989). Sympatric Brazilian callitrichids: the black-tufted-ear marmoset, *Callithrix kuhli*, and the golden-headed lion tamarin, *Leontopithecus chrysomelas*. *Journal of Human Evolution*, 18 (7): 679-695.

Rylands, A.B. (1996). Habitat and the evolution of social and reproductive behaviour in Callitrichidae. *American J. of Primatology*, 38:5-18.

Rylands, A.B., & de Faria, D.S. (1993). Habitats, feeding ecology and range size in the genus *Callithrix*. In: Rylands, A.B., (ed). *Marmosets and Tamarins: Systematics, Behaviour, and Ecology*. Oxford: Oxford University Press, p. 262–72.

Rylands, A.B., Coimbra-Filho, A.F., & Mittermeier, R.A. (2009). The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and *Callimico* (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: *The Smallest Anthropoids*. Boston, MA. Springer Science, p. 25–61.

Sales, I.S., Ruiz-Miranda, C.R., & Santos, C.P. (2010). Helminths found in marmosets (*Callithrix penicillata* and *Callithrix jacchus*) introduced to the region of occurrence of golden lion tamarins (*Leontopithecus rosalia*) in Brazil. *Vet Parasitol.*, 171(1–2):123–9. <http://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.02.044>.

Sales, L. P., Hayward, M. W., & Passamani, M. (2016). Local vs landscape drivers of primate occupancy in a Brazilian fragmented region. *Mammal Research*, 61, 73-82. doi: 10.1007/s13364-015-0252-y.

Santos, I.B., Vale, C.M.C., Alves, C., & Mittermeier, R.A. (1983). Levantamento preliminar da fauna de primatas do Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PFERD), Timóteo, Minas Gerais, Brasil. In: *Resumos do X Congresso Brasileiro de Zoologia*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Zoologia.

Schoener, T.W. (1971). Theory of feeding strategies. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 2: 369-404.

Senzaki, M., Yamaura, Y. & Nakamura, F. (2015). The usefulness of top predators as biodiversity surrogates indicated by the relationship between the reproductive outputs of raptors and other bird species. *Biol. Conserv.*, 191, 460–468.

Silva, F.F.R., Malukiewicz, J., Silva, L.C., Carvalho, R.S., Ruiz-Miranda, C.R., Coelho, F.A.S., Figueira, M.P., Boere, V., & Silva, I. (2018). A survey of wild and introduced marmosets (*Callithrix*: Callitrichidae) in the southern and eastern portions of the state of Minas Gerais, Brazil. *Primate Conserv*, 32:1–18.

Silva, Fernanda de Fátima Rodrigues da. (2014) Distribuição do gênero *Callithrix* no estado de Minas Gerais: Introdução de espécies e hibridação. 2014. 120 f. [Unpublished master dissertation]. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil.

Silva, I.O., Alvarenga, A.B.B., & Boere, V. (2008). Occasional field observations of the predation on mice, dove and ants by black-tufted-ear marmosets (*Callithrix penicillata*). *Neotrop Primates*,; 15(2):59–62. <http://doi.org/10.1896/044.015.0209>.

Silva, O.C. (2013). Um estudo comparativo sobre a propagação do phee-call do sagui-comum em Caatinga e Mata Atlântica no Nordeste do Brasil. [Unpublished masters dissertation]. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco.

Silva, R.H.P & Carvalho, A.A. (2015). Avaliação da efetividade de gestão do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. IN: *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação*. Available in: <http://eventos.fundacaogrupoboticario.org.br/CBUC/TrabalhosTécnicos>.

Soares, N.M., Santos, Jr., E.M., Beltrão-Mendes, R., & Ferrari, S.F. (2011). Avaliação preliminar de uso de habitat e reações ao playback em *Callicebus coimbrai* Kobayashi & Langguth, 1999 e *Callithrix jacchus* (Linnaeus, 1758) no Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco, Sergipe.

Stallings J.R., Fonseca G.A.B., Pinto L.P.S., Aguiar L.M.S., Sábato E.L. (1991) Mamíferos do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 7(4): 663-677.

Stevenson M.F., & Rylands A.B. (1988). The marmosets, genus *Callithrix*. In R. A. Mittermeier, A. B. Rylands, A. F. Coimbra-Filho, & G. A. B. da Fonseca (Eds.), *Ecology and behavior of neotropical primates* (pp. 131–222) (Vol. 2). Washington: World Wildlife Fund.

Todesco, M., Pascual, M.A., Owens, G.L., Ostevik, K.L., Moyers, B., Hubner, S., Heredia, S.M., Hahn, M.A., Caseys, C., Bock, D.G., & Rieseberg, L.H. (2016). Hybridization and extinction. *Evol Appl.*, 9:892–908. [http://doi.org/ 10.1111/eva.12367](http://doi.org/10.1111/eva.12367).

University of New Hampshire. (2018). CanopyApp version 1.0.4. [edu.unh.mobile.canopyapp](http://edu.unh.mobile.canopyapp). New Hampshire, USA.

Valle, R.R., Ruiz-Miranda, C.R., Pereira, D.G., Rímoli, J., Bicca-Marques, J.C., Jerusalinsky, L., Valença-Montenegro, M.M. & Mittermeier, R.A. (2021). *Callithrix penicillata* (amended version of 2018 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T41519A191705321. Available in: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T41519A191705321.en>.

Vilela, S.L. & Faria, D.S. (2004). Seasonality of the activity pattern of *Callithrix penicillata* (Primates, Callitrichidae) in the Cerrado (scrub savanna vegetation). *Brazilian Journal of Biology*, 64 (2): 363-370.

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

White, G.C., & Burnham, K.P., 1999. Program MARK: Survival Estimation from Populations of Marked Animals. *Bird Study* 46 (Supplement), 120-139.

## Supplementary Material

Table S1 – Mean values (min. - max.) of the variables used to model the abundance ( $\lambda$ ) and detection probability ( $r$ ) of *Callithrix* spp. in the Rio Doce State Park, in Minas Gerais, Brazil.

<b>Variables</b>	<b>Mean values (min. - max.)</b>	<b>Parameters</b>
Canopy coverage (%)	73.1 (42.5 – 84.7)	$\Lambda$
Circumferences of trees at breast height (cm)	47.2 (21.1 – 119.6)	$\Lambda$
Density of trees	3 (2 – 7)	$\Lambda$
Number of lianas	3 (0 – 4)	$\Lambda$
Number of epiphyte	1 (0 – 4)	$\Lambda$
Distance to the forest edge (m)	1793.8 (17.5 – 5692.5)	$\Lambda$
Distance to roads (m)	4871.5 (25.5 – 15876.0)	$\Lambda$
Distance to tourist areas (m)	4914.6 (48.7 – 13527.1)	$\Lambda$
Distance to urban areas (m)	7848.2 (109.9 – 15530.8)	$\Lambda$
Sampling effort	4.2 (1 – 5)	$R$
Precipitation (mm)	0.2 (0 – 1.9)	$R$
Temperature (°C)	21.6 (17.8 – 26.5)	$r$



### 3. CAPÍTULO 2

#### **Cercada por invasores: a situação de uma área protegida e a conservação de primatas na Mata Atlântica**

Vanessa de Paula Guimarães-Lopes<sup>1</sup>, Natasha Grosch Loureiro<sup>1</sup>, Júlia Simões Damo<sup>1</sup>, Fabiano Rodrigues de Melo<sup>2</sup>, Rodrigo Lima Massara<sup>3</sup>, Flávio Henrique Guimarães Rodrigues<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Ecologia de Mamíferos, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

<sup>2</sup> Laboratório de Manejo e Conservação de fauna, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

<sup>3</sup>Laboratório de Ecologia e Conservação, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Departamento de Genética, Ecologia e Evolução, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

#### **Resumo**

As paisagens oriundas da fragmentação e da perda da Mata Atlântica, podem servir como ambientes favoráveis para invasões biológicas e aproximação entre espécies alóctones e nativas. Alguns primatas do gênero *Callithrix* possuem alto potencial invasor e estão ampliando sua distribuição pelo Brasil, competindo por recursos e hibridando com diversas espécies de saguis, entre elas o *C. aurita*, um dos primatas mais ameaçados do mundo e a única espécie que deveria ocorrer em um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica do Brasil, o Parque Estadual do Rio Doce (PERD). Os principais corpos d'água limítrofes ao PERD são barreiras de distribuição geográfica entre *C. aurita*, *C. geoffroyi* e *C. flaviceps*. Utilizamos modelos de ocupação em conjunto com *playbacks* para avaliar se a proximidade dos fragmentos florestais que circundam o PERD, além da quantidade de cada tipo de matriz, influenciariam a

probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. (*C. aurita*, *C. flaviceps*, *C. geoffroyi*, *C. penicillata* e indivíduos híbridos) nos fragmentos do entorno do parque. Também avaliamos se a precipitação, a temperatura, o período do dia e o tamanho do fragmento influenciariam a probabilidade de detecção de *Callithrix* spp. Por fim, avaliamos quais regiões do entorno do parque seriam mais vulneráveis a novas introduções de saguis alóctones para o interior do PERD. Não registramos nenhum indivíduo de *C. aurita* puro nos fragmentos do entorno do parque, sobretudo nas regiões à oeste e ao sul, onde a espécie deveria ocorrer naturalmente. Registramos, na maioria dos fragmentos florestais, grupos predominantemente de indivíduos híbridos entre *C. penicillata* e *C. geoffroyi*. A probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. foi maior em fragmentos florestais mais próximos ao PERD, o que pode ser um reflexo da maior disponibilidade de recursos nestas áreas, além de elucidar a possibilidade atual de introdução dos saguis congêneres alóctones para o interior do parque. Os remanescentes florestais à oeste e ao sul mostraram ser mais vulneráveis à introdução de saguis alóctones para o interior do PERD, possivelmente por possuírem maior permeabilidade para o deslocamento desses primatas. Nossos achados, além de indicar grande ameaça dos saguis invasores e seus híbridos para a pequena população de *C. aurita* presente no parque, também indicam ameaça para outras duas espécies de saguis nativos das regiões norte (*C. geoffroyi*) e leste (*C. flaviceps*) do entorno do PERD, este último também considerado um dos primatas mais ameaçados do mundo. Considerando o grave cenário das invasões biológicas, sugerimos medidas urgentes, tais como a erradicação ou a eliminação do potencial reprodutivo das populações de saguis alóctones e seus híbridos em fragmentos florestais ao redor do parque, de forma a contribuir substancialmente para a conservação das espécies nativas da área do entorno.

**Palavras-chave:** Espécies ameaçadas de extinção, espécies invasoras, Floresta Tropical, Antropoceno, Capacidade de dispersão

### 3.1. INTRODUÇÃO

A intensa atividade antrópica, como a expansão da urbanização e a exploração dos recursos naturais, sobretudo o uso da terra para atividades agropecuárias, modificam a paisagem nativa, levando a uma extensa fragmentação e perda de habitat, que representa uma grande ameaça para a biodiversidade (Metzger *et al.*, 2009; Estrada *et al.*, 2017). Essas mudanças no habitat podem afetar negativamente a disponibilidade de recursos essenciais para diversas espécies, reduzindo a quantidade e, a qualidade do ambiente e de seus componentes (Vetter *et al.*, 2011; da Silva *et al.*, 2015; Arroyo-Rodríguez e Mandujano, 2009).

Uma paisagem fragmentada resultante dos impactos antrópicos, é composta por remanescentes de habitats menores e isolados em uma matriz dominada por habitat modificado (Andrén, 1994). A matriz, geralmente, é um mosaico de tipos de uso e cobertura do solo, e assim sua capacidade de dificultar ou facilitar o movimento de espécies entre fragmentos varia (Ricketts 2001; Anderson *et al.*, 2007; Driscoll *et al.*, 2013). Além disso, a resposta de cada espécie ao processo de fragmentação e à matriz circundante, dependerá do seu habitat preferencial, da sua dieta e da capacidade de dispersão (Marsh, 2003; Uezu *et al.*, 2005; Grande, 2012; Galán-Acedo *et al.*, 2019).

Os primatas neotropicais, por serem espécies arborícolas obrigatórias, são mais vulneráveis aos efeitos da fragmentação e perda do habitat, já que necessitam das árvores para atender as suas necessidades alimentares, locais de refúgio e descanso, e organização social (Arroyo-Rodríguez e Mandujano, 2009; da Silva *et al.*, 2015). Embora essas mudanças na cobertura florestal sejam uma das mais citadas ameaças para a maioria das espécies de primatas (Arroyo-Rodríguez e Mandujano, 2009; da Silva *et al.*, 2015), a fragmentação do habitat e a matriz circundante podem servir como ambiente favorável para invasões biológicas e aproximação entre espécies alóctones e nativas (Chiarello, 2000; Sampaio e Schmidt 2013; Vale, 2016). Ambientes antropizados geralmente favorecem espécies de primatas ecologicamente mais

flexíveis, as quais utilizam componentes da matriz e de fragmentos florestais vizinhos para complementar as suas necessidades, ao passo que estes locais podem servir como barreira para espécies mais vulneráveis (Benchimol e Peres, 2014; Pereira *et al.*, 2022).

Os saguis do gênero *Callithrix*, endêmicos do Brasil, representam as espécies mais numerosas em termo de registro de primatas invasores nos Neotrópicos, grande parte em decorrência do comércio ilegal de animais silvestres (Levacov *et al.*, 2011; Rosa *et al.*, 2020). Essas espécies são caracterizadas pela alta plasticidade ambiental, competição, dispersão e pelo sucesso reprodutivo, favoráveis para a sobrevivência em uma grande variedade de tipologias vegetais (Auricchio, 1995; Vilela e Faria, 2004; Ruiz-Miranda, 2005; Rylands *et al.*, 2009; Malukiewicz, 2019). Em especial, *Callithrix jacchus*, *C. penicillata* e *C. geoffroyi* são as espécies do gênero que possuem alto potencial invasor, apresentando maiores adaptações morfológicas, fisiológicas, comportamentais e ecológicas, sobretudo por serem excelentes gomívoros, possuírem alta densidade populacional e ampla distribuição (Rylands e Faria, 1993; Vale 2016; Guimarães-Lopes *et al.*, 2020; Malukiewicz, 2019; Moraes *et al.*, 2019; Guimarães-Lopes *et al.*, 2021). Originalmente, esses calitriquídeos ocorriam no Cerrado, Caatinga e parte da Mata Atlântica do nordeste brasileiro (*C. jacchus* e *C. penicillata*), e na Mata Atlântica do sudeste do Brasil (*C. geoffroyi*) (Rylands *et al.*, 2009; Buckner *et al.*, 2015). As demais espécies do gênero, *C. aurita*, *C. flaviceps* e *C. kuhlii* são menos flexíveis ecologicamente, menos abundantes na natureza, além de possuírem uma distribuição geográfica restrita, ocorrendo naturalmente em parte da Mata Atlântica do sudeste brasileiro (*C. aurita* e *C. flaviceps*) e do estado da Bahia (*C. kuhlii*) (Neves, 1998; Rylands *et al.*, 2009; Buckner *et al.*, 2015; ICMBio/MMA, 2018; Melo *et al.*, 2018). Estas três últimas espécies de saguis se encontram em algum grau de ameaça de extinção (Neves *et al.*, 2021, Melo *et al.*, 2021; Melo *et al.*, 2021; MMA, 2022).

As espécies do gênero *Callithrix*, por serem filogeneticamente mais próximas, conseguem se reproduzir entre si e gerar descendentes férteis, apresentando características fenotípicas intermediárias (Fuzessy *et al.*, 2014; Malukiewicz *et al.*, 2015). Essa é também uma das principais ameaças aos saguis nativos, sobretudo para *C. aurita* e *C. flaviceps*, já que os saguis alóctones estão se espalhando por toda a Mata Atlântica do sudeste brasileiro, em decorrência do tráfico de animais silvestres, e portanto, da soltura indevida em áreas fora da sua distribuição original (Malukiewicz *et al.*, 2021). O processo de hibridação pode ocasionar introgressão gênica, erosão genética, diminuição e eliminação de genótipos únicos das espécies nativas (Coimbra-Filho *et al.*, 1993; Ruiz-Miranda *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2018; Malukiewicz *et al.*, 2021).

A conversão do habitat retrata uma realidade das florestas tropicais, especialmente para a Mata Atlântica, que apesar de ser uma das mais ricas em diversidade de espécies do mundo, é a mais devastada do Brasil, restando apenas 12,4% da sua área original (SOS Mata Atlântica, 2021). Aliado a isso, as invasões de calitriquídeos podem gerar exclusão competitiva, outra grande ameaça aos saguis nativos, além de poder alterar as demais relações ecológicas entre os táxons, por consequência da transmissão de patógenos e predação da fauna nativa (Lyra-Neves *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2008; Sales *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2018). Em particular, algumas regiões de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil, são áreas críticas de invasões de saguis alóctones por serem um dos poucos locais de ocorrência de saguis nativos, como é o caso do maior fragmento de Mata Atlântica do estado (Parque Estadual o Rio Doce – PERD), área de ocorrência natural do *C. aurita*. No PERD também estão presentes os saguis alóctones, *C. penicillata*, *C. geoffroyi* e suas formas híbridas (Santos *et al.*, 1983; Hirsch, 2003; Guimarães-Lopes *et al.*, *in prep.*). Devido a estas ameaças, *C. aurita* está incluído na categoria Em Perigo (EN) de extinção tanto na lista nacional (MMA, 2022) (Ministério do Meio Ambiente), quanto na lista internacional (Melo *et al.*, 2021). Além disso, *C. aurita* foi

considerado um dos primatas mais ameaçados do mundo (Carvalho *et al.*, 2018), e foi incluído no Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira (PAN PPMA) (ICMBio/MMA, 2018).

O PAN PPMA e o Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Alóctones Invasoras em Unidades de Conservação Federais (ICMBio/MMA, 2018, 2019), sugerem que, para primatas alóctones que ameaçam a persistência de espécies nativas devido ao risco de hibridação e competição por recursos, a ação indicada seria a remoção e destinação adequada dos indivíduos invasores da área protegida, mas considerando também a região do entorno, que podem se tornar fonte de indivíduos de espécies alóctones e favorecer a imigração destes para a área protegida.

Nesse contexto, compreender a composição e configuração da paisagem, bem como a facilidade de dispersão dos saguis invasores nessas áreas, é essencial para mitigar a probabilidade de novas invasões, e assim definir estratégias mais efetivas para a conservação de *C. aurita*. A partir de modelos de ocupação em conjunto com o método de *playback*, avaliamos a hipótese de que *Callithrix* spp. (*C. aurita*, *C. flaviceps*, *C. geoffroyi*, *C. penicillata* e indivíduos híbridos) ocupariam preferencialmente fragmentos mais próximos ao parque, devido à maior disponibilidade de recursos, já que o PERD pode atuar como fonte de populações de insetos para fragmentos florestais próximos (Pulliam, 1998), e pela UC possuir maior área de borda florestal, local no qual possui maior disponibilidade de recursos utilizados pelos calitriquídeos (Rylands, 1996). Também esperávamos que a probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. fosse maior nos fragmentos circundados pela matriz de formação florestal e floresta plantada, que estão associados à formação de dossel utilizado pelos primatas (Arroyo-Rodríguez e Mandujano, 2009). No entanto, esperávamos que a ocupação de saguis fosse negativamente influenciada pela matriz circundante de pastagem, corpos d'água e área urbanizada, já que primatas arborícolas não costumam descer ao solo e, portanto, estes são

ambientes mais impróprios (Arroyo-Rodríguez e Mandujano, 2009). Também avaliamos a hipótese de que a precipitação e a temperatura média de cada localidade influenciariam negativamente a probabilidade de detecção de *Callithrix* spp., já que condições climáticas adversas podem retardar as atividades dos saguis e minimizar a sua detecção (Côrrea, 1995). Esperávamos ainda uma menor probabilidade de detecção no período da tarde, já que há uma redução da atividade e vocalização dos saguis nos períodos mais quentes do dia, consequentemente, reduz a sua detectabilidade (Menezes *et al.*, 1993; Mendes, 1997). Avaliamos também se o tamanho do fragmento influenciaria negativamente a probabilidade de detecção de *Callithrix* spp., já que esperávamos uma menor detecção em fragmentos maiores devido os grupos de saguis estarem mais dispersos na área, dificultando nossa detecção. Por fim, avaliamos quais regiões do entorno do parque seriam mais permeáveis e, portanto, facilitariam o deslocamento dos saguis invasores para o interior do PERD.

## 3.2. MÉTODOS

### 3.2.1. Área de estudo

O PERD é o primeiro parque estadual protegido de Minas Gerais, localizado entre os municípios de Marliéria, Timóteo e Dionísio (Figura S1). O PERD abrange o maior remanescente contínuo de Mata Atlântica do estado, possuindo quase 36.000 ha (IEF, 2001). As áreas ao redor do parque abrangem 16 municípios e compreendem diversos tipos de uso e cobertura do solo, como centros urbanos, áreas agropastorais, extensas plantações de eucalipto, fragmentos de mata em diferentes estágios de sucessão e corpos hídricos (Peixoto, 2012; de Oliveira *et al.*, 2021). Os principais corpos d'água da região são limítrofes ao PERD, como o rio Piracicaba, no limite norte do parque, e o rio Doce, a leste do PERD (Figura S1) (IEF, 2001).

O PERD é o limite norte de ocorrência natural do *C. aurita* e a distribuição histórica dessa espécie se estende para áreas ao redor do parque, nas regiões noroeste, oeste e sul, sendo o rio Piracicaba, na sua foz com o rio Doce, o limite de distribuição dessa espécie com *C. geoffroyi*

(Melo e Rylands, 2008) (Figura S1). Portanto, *C. geoffroyi* ocorre naturalmente na região norte fora do parque, à oeste do rio Piracicaba (Vivo, 1991) (Figura 1). O rio Doce, na porção leste do PERD, é o limite de distribuição geográfica entre *C. aurita* e *C. flaviceps* (Rylands *et al.*, 2009) (Figura S1). Este último, portanto, ocorrendo naturalmente à leste do rio Doce (Rylands, *et al.*, 2009). Já *C. penicillata* deveria ocorrer naturalmente no centro norte, noroeste, triângulo e norte de Minas Gerais, em regiões mais afastadas do parque (Vivo, 1991) (Figura S1).

### 3.2.2. Delineamento amostral e coleta de dados

Os fragmentos florestais presentes na zona de amortecimento do PERD, nas regiões norte, sul, leste e oeste, foram obtidos a partir do mapa de uso e cobertura do solo realizado por de Oliveira *et al.* (2021), e por meio dos programas ArcGis Map 10.8.1 (ESRI, 2020) e Qgis 3.28.2 (QGIS, 2022). Escolhemos aleatoriamente 22 fragmentos localizados a até 2000 metros do PERD, com tamanho maior ou igual a 34 ha, que corresponde à maior área de vida entre todas as espécies de *Callithrix* com registro de ocorrência nestas áreas – *C. geoffroyi* com cerca de 34,4 ha (Abbehuse *et al.*, 2005), *C. flaviceps* com 33,9 ha (Guimarães, 1998), *C. penicillata* com cerca de 2 ha a 18,5 ha (Fonseca *et al.*, 1980; Ruiz-Miranda *et al.*, 2006) e *C. aurita*, com aproximadamente, 11 ha (Muskin, 1984). A busca por registros de *Callithrix* spp. (*C. aurita*, *C. flaviceps*, *C. geoffroyi*, *C. penicillata* e indivíduos híbridos) foi realizada entre março e abril de 2022, compreendendo uma área de 7.741,7 ha (Figura S1).

Os pontos de chamadas, onde foram realizadas as sessões de *playback*, foram distribuídos na borda dos fragmentos, devido à impossibilidade de acessar as localidades mais internas. Para cada sessão de *playback*, nós utilizamos uma caixa amplificadora de som (modelo k150 - marca X Zhang) acoplada à um tweeter (auto-falante para som automotivo - marca Leson). Este equipamento pode reproduzir sons agudos que estão em uma frequência entre 2 kHz até 20 kHz e foi definido como equipamento padrão para levantamentos com *Callithrix* spp. (II Workshop de Planejamento de Conservação dos saguis-da-serra, 2020). Uma vocalização de chamada



longa (*long call*) de *C. flaviceps* foi utilizada durante as amostragens, na qual foi testada previamente (Guimarães-Lopes *in prep.*), podendo ser respondida por qualquer espécie foco congênera. As vocalizações foram reproduzidas durante 2,5 minutos (média de 75 segundos para cada direção de mata a partir do ponto), seguido por um período de escuta de 2,5 minutos. Cada sessão de *playback* foi repetida quatro vezes, totalizando 20 minutos de amostragem em cada ponto. Realizamos as sessões de *playback* no período da manhã (entre 6:00hs e 12:00hs) e no período da tarde (entre 14:00hs e 18:00hs). Dois observadores ficavam distantes por 5 m atentos às respostas dos *playbacks*, sempre mantendo contato visual para concordar com a direção da resposta. O terceiro observador se deslocava para visualização do grupo e identificação da espécie e/ou híbridos.

Os fragmentos florestais tiveram de 1 a 71 pontos de chamadas, sendo proporcional ao tamanho de cada fragmento. Esses pontos estavam distantes entre si por no mínimo 400 metros, já que estudos evidenciam que essa distância é suficiente para haver independência entre os pontos amostrais em pesquisas com calitriquídeos, por se tratar de espécies territorialistas e coesas (Diego *et al.*, 1993; Côrrea *et al.*, 2000; Mendes e Melo, 2007; da Silva *et al.*, 2015). Cada fragmento foi amostrado em sua totalidade até passar para o próximo, com duração média de dois dias.

Para identificar os indivíduos e diferenciar as espécies de *Callithrix* presentes nos fragmentos, foi avaliada as características específicas descritas por Vivo (1991) que distinguem as quatro espécies em foco, tais como o formato e a coloração dos tufos das orelhas, e o padrão de coloração da face e da pelagem do dorso. Os indivíduos híbridos entre elas foram identificados com base nas características de coloração e pelagem de seus parentais (Fuzessy *et al.*, 2014).

### 3.2.3. Modelando as probabilidades de ocupação e detecção de *Callithrix* spp. em função de variáveis preditoras

A probabilidade de ocupação ( $\Psi$ ) é definida como a probabilidade da unidade amostral (i.e., no nosso caso, o fragmento florestal) estar ocupado por *Callithrix* spp., já a probabilidade de detecção ( $p$ ) é definida como a probabilidade de detectar *Callithrix* spp. em uma unidade amostral e em uma ocasião de amostragem, dado que a unidade está ocupada (MacKenzie *et al.*, 2002). Os parâmetros  $\Psi$  e  $p$  podem ser modelados em função de variáveis preditoras. As ocasiões de amostragem geralmente são estabelecidas como diferentes visitas na mesma unidade amostral, mas também podem ser estabelecidas em uma única visita como diferentes observadores ou como diferentes métodos de coletas, ou ainda, como diferentes pontos amostrais dentro da grande unidade amostral (MacKenzie *et al.*, 2018). No nosso caso, devido à logística de campo, não conseguimos realizar diferentes visitas em cada fragmento e, portanto, estabelecemos os pontos de chamadas dentro dos fragmentos como sendo nossas ocasiões de amostragem.

Para avaliar se a distância entre cada fragmento e o PERD influencia a probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp., medimos a distância mais próxima entre a borda florestal de cada fragmento até o PERD, através da ferramenta “NNjoin” no Qgis 3.28.2 (QGIS, 2022) (Tabela S1). Para avaliar se as áreas de uso e cobertura do solo, predominantes ao redor de cada fragmento, influenciam a probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp., nós usamos o mapa das classes de cobertura e uso da terra da coleção 7.0 do projeto Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas, 2021). Classificamos a cobertura da paisagem nas seguintes categorias: (1) pastagem, (2) corpos d’água, (3) formação florestal, (4) floresta plantada (i.e. silvicultura) e (5) área urbanizada. A partir do perímetro de cada fragmento foram criados *buffers* de 100 m, 250 m, 500 m e 1000 m de raio, utilizando a ferramenta “*buffer*” do Qgis 3.28.2 (QGIS, 2022), sendo que para obter as áreas de cada categoria de uso e cobertura

da terra dentro de cada um dos buffers utilizamos a ferramenta “r.report” do GRASS GIS (QGIS, 2022).

Para modelar a probabilidade de detecção dos calitriquídeos, nós selecionamos quatro variáveis (Tabela S1): a variável categórica período da pesquisa (pontos de *playback* amostrados no período da manhã = 0; e da tarde = 1), o tamanho do fragmento obtido através do cálculo de área no Qgis 3.28.2 (QGIS, 2022), a precipitação e a temperatura média por ocasião de cada fragmento, obtidos a partir de duas estações meteorológicas dos municípios de Caratinga e Timóteo (INMET, 2022).

Por fim, nós fizemos o teste de correlação de Pearson, a fim de testar a existência de alta correlação ( $|r| > 0.70$ ) (Dormann *et al.*, 2013) entre todas as variáveis preditoras, mas nenhuma foi fortemente correlacionada ( $|r| < 0,70$  em todos os casos).

#### 3.2.4. Análise de dados da modelagem de ocupação e probabilidade de detecção

Em uma matriz binária, nós construímos um histórico de detecção (1) e não detecção (0) de *Callithrix* spp. em cada ponto de *playback* para cada fragmento florestal. Em uma análise preliminar, avaliamos qual escala de *buffer* de cada tipo de categoria de uso e cobertura da terra melhor se ajustava ao nosso conjunto de dados. Especificamente, foram contruídos quatro modelos para cada categoria de uso e cobertura da terra, onde o parâmetro  $\Psi$  foi modelado em função dos *buffers* de 100 m, 250 m, 500 m e 1000 m de raio a partir do perímetro dos fragmentos, e o parâmetro  $p$  ficou com a estrutura mais parametrizada fixada (i.e., estrutura aditiva entre as variáveis de interesse para este parâmetro). Utilizamos o Critério de Informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc) para selecionar o modelo mais bem ranqueado que continha o *buffer* mais ajustado para cada categoria de uso e cobertura da terra, os quais foram considerados para as análises subseqüentes.

Os modelos mais parcimoniosos que continham diferentes *buffers* para cada categoria de uso e cobertura da terra foram: o modelo com *buffer* de raio de 1000 m para as categorias de pastagem, formação florestal e área urbanizada; o modelo com *buffer* de raio de 250 m para corpos d'água; e o modelo com *buffer* de raio de 100 m para floresta plantada (i.e., silvicultura) (Tabela S1).

Posteriormente, avaliamos por possível falta de independência (sobredispersão;  $\hat{c} > 1$ ) dos registros de *Callithrix* spp. entre as localidades amostradas. Esta análise foi realizada a partir do teste *goodness of fit* proposto por MacKenzie e Bailey (2004), que está disponível no pacote “AICcmodavg” do programa R (4.0.3) (Mazerolle, 2020). O teste não revelou sobredispersão ( $\hat{c} = 0,0048$ ;  $\chi^2 = 1,2118$ ;  $p = 0,2214$ ).

Por fim, para avaliar qual variável foi mais determinante por influenciar os parâmetros de interesse, nós construímos um conjunto de modelos a partir de todas as combinações aditivas possíveis entre as variáveis de interesse para  $\Psi$  e  $p$ , mas limitando os modelos a terem quatro variáveis ou menos (Doherty *et al.*, 2012). Os modelos foram construídos no programa MARK e classificados utilizando o Critério de Informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc) (White e Burnham, 1999; Mackenzie *et al.*, 2002). Foram construídos um conjunto final de 373 modelos. Esta estratégia de todas as combinações possíveis gerou um conjunto balanceado de modelos (Burnham e Anderson, 2002), que nos permitiu interpretar o peso cumulativo de AICc ( $w_+$ ) de cada variável preditora, sendo que consideramos as variáveis com  $w_+ \geq 0,50$  como sendo determinantes para influenciar as probabilidades de ocupação e detecção de *Callithrix* spp. (Barbieri e Berger, 2004).

### 3.2.5. Avaliando fragmentos vulneráveis à introdução de *Callithrix* invasores para o Parque Estadual do Rio Doce

Atualmente, os métodos mais utilizados para modelar continuidades ecológicas e avaliar áreas potenciais de dispersão de uma espécie se baseiam no conceito de permeabilidade da paisagem, isto é, na capacidade dessa espécie de se movimentar nesse ambiente (Chailloux, 2021). Essas técnicas de modelagem designam pesos ou valores para o uso e cobertura da terra e tipos de uso dentro da matriz, com base nesta resistência ou na facilidade de deslocamento das espécies, para gerar rotas de menor custo (Watts *et al.*, 2010; Chailloux, 2021). Portanto, o modelo final gerado identifica rotas mais prováveis de serem percorridas por uma determinada espécie entre manchas de habitat.

A fim de avaliar a rota de menor custo, ou seja, aquelas que facilitam o deslocamento de espécies invasoras de *Callithrix* entre os fragmentos florestais e o PERD, nós obtivemos a opinião de especialistas sobre a superfície de resistência, isto é, a permeabilidade de cada categoria de uso e cobertura da terra para as espécies de saguis (Tabela 1). O grupo de especialistas deveriam considerar para cada tipo da categoria a perspectiva do risco de predação, presença/ausência de recursos, interferência humana e capacidade de deslocamento dos saguis. No final, a classificação da permeabilidade de cada categoria variou entre 1 (alta permeabilidade) e 100 (baixa permeabilidade). Para a matriz de corpos d'água de grande porte e mineração, nós calibramos o valor de permeabilidade para 1000, já que estes atuam como barreira geográfica de distribuição para as espécies (Melo e Rylands, 2008). Para a permeabilidade de cada categoria, consideramos os valores medianos a partir do conjunto de dados obtido através das respostas dos especialistas (Tabela 1).

Para projetar as rotas de menor custo de deslocamento das espécies invasoras de *Callithrix* entre os fragmentos florestais em que houve registro de indivíduos e o PERD, nós utilizamos a ferramenta “BioDispersal” do Qgis 3.28.2 (Chailloux, 2021; QGIS, 2022). O mapa resultante

das áreas potenciais de dispersão foi baseado nos custos cumulativos das pontuações de permeabilidade de cada tipo de matriz, levando em consideração um custo máximo dos saguis (i.e., capacidade máxima de dispersão expressa em unidade de custo). Nós adotamos 3 valores para a capacidade máxima de dispersão: (1) 150, representando o valor de custo mais baixo e mais conservador; (2) 500 representando um valor de custo intermediário, e (3) 1000 representando um cenário de alta capacidade de dispersão.

Tabela 1 – Classes de cobertura e uso do solo, e os valores de permeabilidade de cada categoria utilizados para avaliar os fragmentos potenciais como fonte de *Callithrix* invasores para o Parque Estadual do Rio Doce, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

<b>Classes de cobertura e uso do solo</b>	<b>Características da matriz</b>	<b>Valor de permeabilidade (Mediana)</b>
Formação florestal	Habitats semelhantes a florestas, relativamente inalterado com forte estrutura vertical	1
Estrada não-pavimentada e pontes	Habitats artificiais	30
Silvicultura	Cultivo de espécies arbóreas plantadas para fins comerciais ( <i>Eucalyptus</i> sp. e <i>Pinus</i> sp.)	30
Área urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações	50
Monocultura	Áreas cultivadas sem formação de dossel	70
Estrada pavimentada	Habitats artificiais e hostis	70
Pastagem	Área de pastagem, predominantemente plantadas, vinculadas a atividade agropecuária	80
Formação não-florestal	Habitats de vegetações herbáceas nativas e arbustivas	80
Solo exposto	Área não vegetada	80
Corpos d'água de grande porte	Habitats aquáticos – rios, lagos e represas	1000
Mineração	Áreas de superfícies não permeáveis - fortemente modificados	1000

### 3.3. RESULTADOS

Registramos um total de 49 grupos de *Callithrix* spp. em 13 (~ 60%) dos 22 fragmentos florestais amostrados ao redor do PERD (Figura 1). A maioria dos grupos (N = 22) observados, onde foi possível a identificação dos indivíduos, foram mistos. Estes grupos foram, predominantemente (N = 14), de indivíduos híbridos que continham caracteres fenotípicos entre *C. geoffroyi* x *C. penicillata* (Figura 1A). No entanto, também foram observados grupos que continham indivíduos com caracteres fenotípicos puros de *C. geoffroyi*, *C. penicillata* e indivíduos híbridos de *C. geoffroyi* x *C. penicillata* (N = 3) (Figura 1B), indivíduos híbridos entre *C. aurita* x *C. penicillata* e *C. geoffroyi* x *C. penicillata* (N = 1), indivíduos híbridos de *C. aurita* x *C. penicillata* (N = 1) (Figura 1C), indivíduos híbridos com fenótipos de *C. aurita* x *C. flaviceps* (N = 1), indivíduos com caracteres fenotípicos puros de *C. geoffroyi* com indivíduos híbridos de *C. aurita* x *C. penicillata* (N = 1) e indivíduos de *C. geoffroyi* e *C. penicillata* (N = 1) (Figura 1D-E). Os demais grupos avistados foram de indivíduos com fenótipos puros de *C. flaviceps* (N = 7) (Figura 1F) e *C. geoffroyi* (N = 5), e em 15 grupos não foi possível a identificação da espécie, portanto, foram categorizadas como *Callithrix* sp.



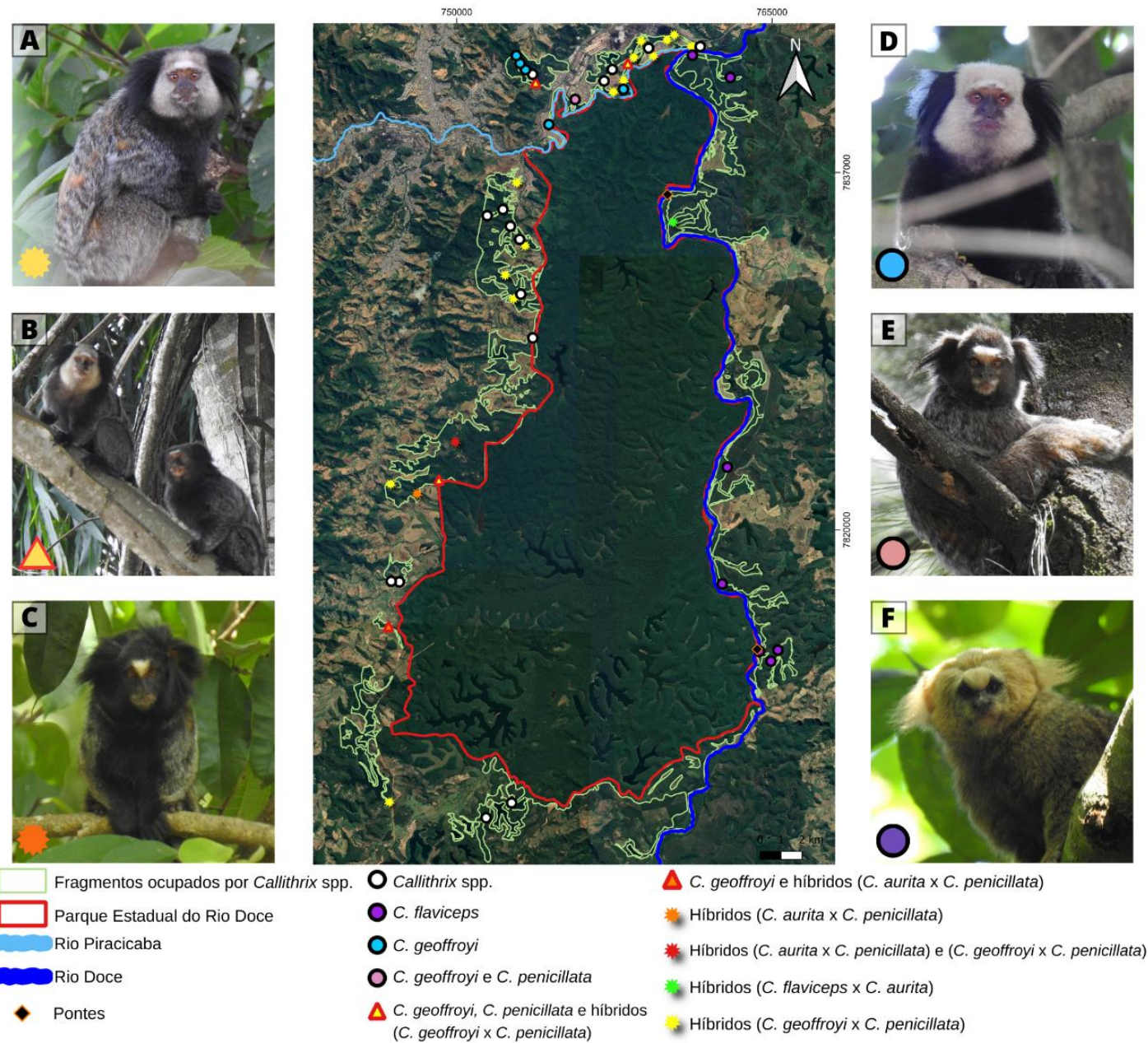


Figura 1 – Distribuição atual de *Callithrix* presentes nos quatro quadrantes que representaram as localidades dos fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Indivíduo híbrido com caracteres fenotípicos entre *C. geoffroyi* x *C. penicillata*. (B) Indivíduo híbrido entre *C. geoffroyi*



x *C. penicillata* e indivíduo de *C. penicillata*. (C) Indivíduo híbrido entre *C. aurita* x *C. penicillata*. (D) Indivíduo com fenótipo de *C. geoffroyi*. (E) Indivíduo com fenótipo de *C. penicillata*. (F) Indivíduo com fenótipo de *C. flaviceps*. Sistema de Coordenadas Planas, projeção UTM fuso 23 Sul e Datum SIRGAS 2000. Fotos: Vanessa Guimarães-Lopes.

Os registros obtidos totalizaram 149 indivíduos, entre eles, 61 indivíduos com caracteres fenotípicos de híbridos, 39 indivíduos com fenótipos de *C. geoffroyi*, 21 indivíduos de *C. flaviceps*, 4 indivíduos de *C. penicillata* e 24 indivíduos de *Callithrix* não identificados. Nenhum indivíduo com caracteres fenotípicos puros de *C. aurita* foi observado. Sendo assim, devido à inexistência de grupos puros da espécie nativa do PERD, a análise da probabilidade de ocupação e detecção foi realizada combinando todos os registros dos grupos observados de *Callithrix* spp. nos fragmentos florestais, considerando que estes indivíduos podem atuar como espécies invasoras para o interior do PERD.

Nossos registros mostraram que há uma predominância de grupos contendo indivíduos híbridos entre *C. geoffroyi* x *C. penicillata*, em praticamente todas as regiões no entorno do PERD (Figura 1A, B), exceto na região leste. Esses grupos foram mais abundantes, sobretudo, na região norte, próximos à foz do rio Piracicaba com o rio Doce. Os grupos contendo indivíduos híbridos entre *C. aurita* x *C. penicillata* foram observados nas regiões oeste e sul do PERD (Figura 1C). Já os grupos que continham indivíduos puros de *C. geoffroyi* foram observados na região norte (Figura 1D), e alguns deles estavam presentes indivíduos com caracteres fenotípicos de *C. penicillata* (Figura 1E). À leste do rio Doce, foram encontrados os grupos contendo indivíduos fenotipicamente puros de *C. flaviceps* (Figura 1F) e um grupo que continha indivíduos híbridos de *C. aurita* x *C. flaviceps*.

A probabilidade média de ocupação ( $\Psi$ ) de *Callithrix* spp. foi de 0,83 (IC-95% = 0,0003–0,99), sendo influenciada somente por uma variável, correlacionando negativamente com a distância até o PERD ( $w_+$  = 0,60; Tabela 2; Figura S2). Já a probabilidade de detecção ( $p$ ) de

*Callithrix* spp. foi 0,2 (IC-95% = 0,14–0,26), sendo que este parâmetro não foi influenciado por nenhuma variável ( $w_+ < 0,50$ ; Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado dos pesos cumulativos ( $w_+$ ) em ordem decrescente para cada variável usada para avaliar a probabilidade de ocupação ( $\Psi$ ) e de detecção ( $p$ ) de *Callithrix* spp. em fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Os modelos foram classificados usando o critério de informação de Akaike ajustado para pequenas amostras (AICc) e as variáveis com  $w_+ \geq 0,50$  foram consideradas como as mais determinantes para influenciar cada parâmetro.

Variáveis	Pesos cumulativos AICc ( $w_+$ )	Parâmetros $\beta$			
		Estimativa	SE	LCI (95%)	UCI (95%)
<b>Ocupação (<math>\Psi</math>)</b>					
Distância para o PERD	0,60*	- 0,01	0,02	- 0,05	0,03
Corpos d'água	0,27	- 0,39	0,34	- 1,06	0,27
Pastagem	0,23	- 0,28	0,39	- 1,05	0,49
Formação florestal	0,18	- 0,19	0,28	- 0,74	0,36
Silvicultura	0,13	0,06	0,39	- 0,71	0,83
Área urbanizada	0,12	0,30	3,42	- 6,41	7,00
<b>Detecção (<math>p</math>)</b>					
Período de amostragem	0,42	- 0,70	0,38	- 1,44	0,04
Tamanho do fragmento	0,39	$- 0,27 \times 10^{-3}$	$0,16 \times 10^{-3}$	$- 0,59 \times 10^{-3}$	$0,50 \times 10^{-3}$
Temperatura	0,21	0,33	0,27	- 0,21	0,86
Precipitação	0,13	0,01	0,10	- 0,19	0,21

As estimativas dos parâmetros  $\beta$  foram obtidas através do modelo mais parcimonioso que continha a variável (Tabela S2). Distância para o PERD = distância mais próxima entre a borda florestal de cada fragmento até o PERD; corpos d'água = área de corpos d'água dentro de um *buffer* de 250m de raio ao redor de cada fragmento; pastagem = área de pastagem dentro de um *buffer* de 1000m de raio ao redor de cada fragmento; formação florestal = área de formação florestal dentro de um *buffer* de 1000m de raio ao redor de cada fragmento; silvicultura = área de silvicultura dentro de um *buffer* de 100m de raio ao redor de cada fragmento; área urbanizada = área urbana dentro de um *buffer* de 1000m de raio ao redor de cada fragmento; período de amostragem = horário de amostragem em cada ocasião de cada fragmento (período da manhã = 0; e da tarde = 1); tamanho do fragmento = área do fragmento florestal amostrado; temperatura = temperatura média em cada ocasião de amostragem de cada fragmento; precipitação = precipitação média em cada ocasião de amostragem de cada fragmento. \*Peso de AICc que apresenta forte evidência da variável no parâmetro de interesse ( $w_+ \geq 0,50$ ). SE = erro padrão; LCI = intervalo de confiança inferior (de 95%); UCI = intervalo de confiança superior (de 95%).

Os resultados das áreas potenciais de dispersão de *Callithrix* spp. para o PERD, a partir dos fragmentos florestais ocupados e da superfície de resistência da matriz circundante (Figura 2A-B), evidenciaram, para o cenário de capacidade máxima de dispersão de 150, que as rotas das regiões noroeste, oeste, sudoeste e sul foram as de menor custo e maior acessibilidade para o movimento das espécies invasoras de *Callithrix* (Figura 2C). As áreas em que estavam presentes as pontes nas estradas não pavimentadas, localizadas à nordeste e leste do PERD, também foram determinantes para uma rota de menor custo desses indivíduos para o interior do parque (Figura 2C). Esses percursos resultantes seguiram pixels com maior permeabilidade para *Callithrix* spp., que estão associados à cobertura vegetal e as passagens antrópicas (i.e., pontes) conectadas diretamente ao PERD. As demais trajetórias foram mais custosas, sobretudo nas regiões norte, nordeste, leste e sudeste (Figura 2C). A região norte possui a presença de pequenos fragmentos florestais entre uma matriz paisagística dominada por edifícios, estradas pavimentadas de grande fluxo de veículos, e a presença de um rio de grande porte (rio Piracicaba) que limita a região com o parque. Já as regiões nordeste, leste e sudeste são caracterizadas por grandes áreas de silvicultura e pela presença do rio principal da região (rio Doce).

O cenário intermediário, cuja capacidade máxima de dispersão foi de 500, igualmente ilustra que as regiões mais permeáveis são as noroeste, oeste, sudoeste e sul, bem como as pontes (Figura 2D). No entanto, as invasões se espalham para outras regiões no interior do PERD, já que a capacidade máxima de dispersão foi maior. Por fim, o cenário de maior permeabilidade para as espécies de saguis, que possui a capacidade máxima de dispersão de 1000, mostra uma invasão totalmente generalizada no interior do PERD (Figura 2E), evidenciando que, nessas condições, o parque seria totalmente invadido pelas espécies alóctones de *Callithrix*. Igualmente, as regiões de maior vulnerabilidade nesse cenário são as regiões noroeste, oeste, sudoeste, sul e as pontes, propagando as invasões para as regiões norte,

nordeste, leste e sudeste do interior do PERD, evidenciando que as áreas florestais do parque contribuem para essa invasão.

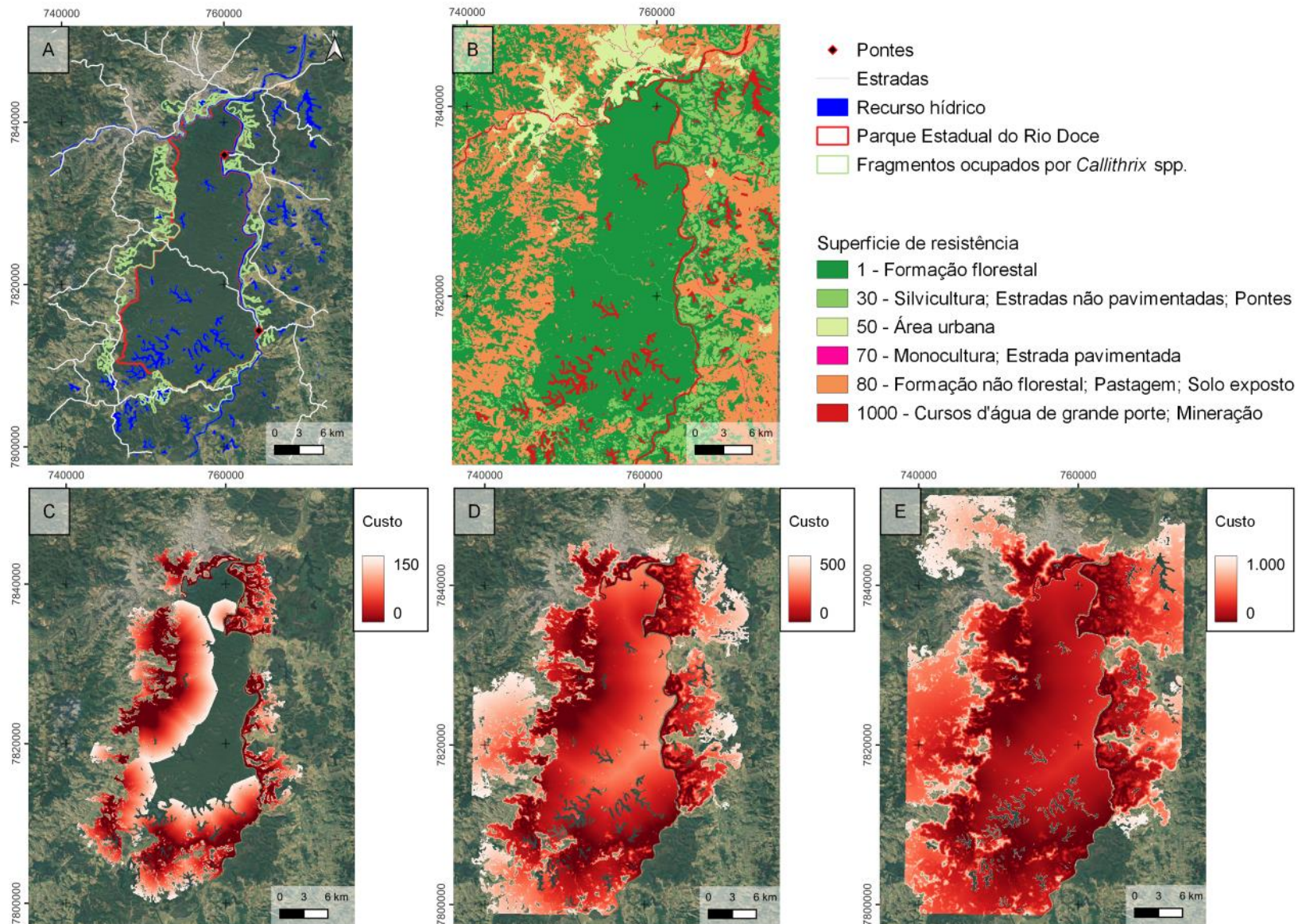


Figura 2 – Áreas potenciais de dispersão de *Callithrix* spp. para o Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Fragmentos florestais ocupados por espécies de saguis no entorno do PERD. (B) Superfície de resistência de cada categoria de uso e cobertura da terra para *Callithrix* spp., onde valores mais altos representam maior resistência. (C-E) Rotas de distância de custo entre os fragmentos florestais que atuam como possíveis fontes de introdução de saguis invasores para o PERD,

considerando as capacidades máximas de dispersão de 150, 500 e 1000. Localidades mais escuras representam menor custo de dispersão e maior vulnerabilidade de invasão de saguis para o interior do parque. Sistema de Coordenadas Planas, projeção UTM fuso 23 Sul e Datum SIRGAS 2000.

### 3.4. DISCUSSÃO

A probabilidade de ocupação média de 83% de *Callithrix* spp. nos fragmentos florestais ao redor do PERD, mostra a gravidade das invasões das espécies congêneres alóctones, tanto para *C. aurita*, quanto para as demais espécies nativas da região. A preocupação das invasões de *C. geoffroyi*, *C. penicillata* e seus híbridos em fragmentos de determinadas regiões fora do parque é ainda maior, já que foi observado indivíduos híbridos dessas espécies com *C. aurita*. Este é também o cenário atual no interior do PERD, no qual foi identificado predominantemente grupos de indivíduos híbridos das espécies invasoras com a espécie nativa e poucos indivíduos com fenótipos puros de *C. aurita* (Guimarães-Lopes *et al.*, *in prep.*).

A introdução de *C. geoffroyi* e *C. penicillata* em áreas de ocorrência natural de *C. aurita* é comumente relatada em outras regiões de Minas Gerais, bem como no Rio de Janeiro e São Paulo (Pereira *et al.*, 2008; Rylands *et al.*, 2009; Oliveira e Grelle, 2012; Fuzessy *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018; Malukiewicz, 2019). Outras áreas protegidas como o PERD, também sofrem as consequências das invasões de saguis e suas formas híbridas, tanto em áreas em seu interior, quanto em fragmentos florestais ao seu redor (Cunha *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2008; Aximoff, Spencer e Vaz 2015; Aximoff *et al.*, 2016; Detogne *et al.*, 2017). No PERD, a introdução desses saguis alóctones vem sendo observada desde 1983 (Santos *et al.*, 1983; Coimbra-Filho, 1984; Stallings *et al.*, 1991; Hirsch, 1995; Hirsch *et al.*, 1996; Hirsch, 2003). No entanto, em fragmentos no seu entorno essa informação é escassa, inviabilizando a comparação das estimativas da probabilidade de ocupação e detecção de *Callithrix* spp., bem como o início do processo de introdução dessas espécies nessas áreas.

Nossos resultados revelam um efeito negativo entre a distância dos fragmentos florestais e o PERD, na probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. Como esperado, houve maior ocupação de saguis em fragmentos de mata mais próximos ao parque. É conhecido que grandes remanescentes florestais podem influenciar a demografia de populações em pequenos fragmentos de mata próximos. Este modelo é conhecido como dinâmica fonte-sumidouro, que considera a dispersão dos indivíduos entre fragmentos para a manutenção de populações (Pulliam, 1998). Um exemplo desse modelo é para as populações de insetos, que tendem a escapar da extinção sobrevivendo em habitats sumidouros, que mesmo possuindo menor qualidade, são locais suficientes para garantir a sobrevivência das espécies pela imigração de outras populações, sobretudo em habitat ótimo circundado por habitats subótimos (Griebeler e Gottschalk, 2000; Frouz e Kindlmann, 2015). Nesse contexto, pode-se sugerir que o PERD, por ser um remanescente de mata contínuo, tende a apresentar maior abundância e biodiversidade, logo, pode atuar como fonte, dispersando populações de insetos para pequenos fragmentos florestais próximos que atuam como sumidouro. Dessa forma, os fragmentos mais próximos ao PERD, podem fornecer melhores áreas de alimentação, sobretudo de populações de insetos, para os calitriquídeos. Aliado a isso, por apresentarem uma matriz mais permeável, de formação florestal (nas regiões oeste e sul do PERD) ou floresta plantada (ao leste do parque), estes fragmentos florestais podem facilitar o acesso às bordas de fragmentos vizinhos, o que permite ampliar a área de vida e a gama de recursos disponíveis para os saguis (Chiarello, 2003; Benchimol e Peres, 2013; Sales *et al.*, 2015; Secco *et al.*, 2018). De fato, Guimarães-Lopes *et al.*, *in prep.* observaram maior abundância de *Callithrix* spp. na borda florestal do PERD, do que nas áreas mais internas do parque, corroborando com os nossos achados. As bordas florestais são áreas de maior preferência dos calitriquídeos, já que estes locais podem proporcionar um ambiente mais rico em presa animal, árvores produtoras de goma, e uma vegetação mais densa, favoráveis para o esconderijo e proteção desses animais contra



predadores, além da menor competição por recursos com outras espécies de primatas (Passamani e Rylands, 2000; Chiarello, 2003; Raboy e Dietz, 2004).

Já os fragmentos afastados do PERD, estão mais circundados por matrizes de pastagem e grandes rodovias de centros urbanos (de Oliveira *et al.*, 2021). Apesar de não ter influenciado na ocupação de saguis, essas matrizes, por não possuir formação de dossel e apresentar maior perigo à fauna arborícola, pode dificultar o deslocamento de primatas e acesso à recursos de fragmentos vizinhos, o que pode ser um fator determinante para não influenciar a ocupação desses saguis nestas áreas (Arroyo-Rodríguez e Mandujano, 2009; Da Silva *et al.*, 2015). Ainda que tenha sido observada a ocorrência de *Callithrix* entre os dois maiores centros urbanos na região norte do PERD (Ipatinga e Coronel Fabriciano), os fragmentos florestais ocupados são caracterizados por áreas de matas ciliares menores conectadas entre si. A capacidade de sobrevivência desses calitriquídeos em habitats florestais urbanos pode ser atribuída ao menor risco de predação, competição e à capacidade de obtenção de recursos alimentares prontamente disponíveis, como em árvores frutíferas cultivadas e alimentação antrópica (Miranda e Faria, 2001; Secco *et al.*, 2018).

Os fragmentos mais próximos ao PERD que foram mais ocupados pelos saguis, pode facilitar a compreensão do histórico de introdução e hibridação dos saguis alóctones no interior do parque. A proximidade entre os fragmentos florestais e o parque pode ter favorecido a entrada desses indivíduos para o interior do PERD. De fato, os nossos resultados das áreas potenciais de dispersão indicam que os saguis podem se deslocar facilmente através das rotas dos fragmentos presentes nas regiões noroeste, oeste, sudoeste e sul, já que essas regiões apresentam mais conectividade e menor distância para o parque, além de custos totais de dispersão mais baixos, apresentando áreas mais permeáveis para o deslocamento dos saguis. Estudos evidenciam que o deslocamento de primatas através da matriz é influenciado pela distância, tendendo a aumentar conforme a distância entre as áreas de mata diminui (Mandujano



e Estrada, 2005; Anzures-Dadda e Manson, 2007). Ao mesmo tempo, matrizes que possuem estrutura mais semelhantes ao habitat de ocorrência dos primatas, apresentam maior permeabilidade ao longo do percurso (da Silva *et al.*, 2015). Essas áreas que poderiam atuar como “*stepping stones*” para *C. aurita*, facilitam a entrada de espécies invasoras (Alharbi e Petrovskii, 2018), representando grande ameaça para a espécie nativa, como é o cenário atual identificado.

Ainda que, a maior ocupação de híbridos nos fragmentos próximos ao PERD poderia indicar a possibilidade da invasão ter iniciado no parque e este ter atuado como fonte das espécies invasoras para os fragmentos no seu entorno. Os indivíduos híbridos entre as espécies invasoras e *C. aurita* foram mais abundante dentro do PERD (33%) do que nos fragmentos ao seu entorno (2%). Dessa forma, acreditamos que essa hipótese seja improvável. Nesse contexto, sugerimos a necessidade de novos estudos em fragmentos mais distantes do parque, dentro da área de ocorrência natural do *C. aurita*, que não foram amostrados no presente estudo, a fim de testar a hipótese de o parque ter sido a fonte inicial para a invasão da região.

A introdução dessas espécies congêneres alóctones no parque e em matas próximas, provavelmente, é oriunda da soltura indevida de animais silvestres resgatados por órgãos ambientais da região do Vale do Aço, decorrentes do tráfico ilegal de animais silvestres e de apreensões em áreas urbanas (Loureiro *et al.*, 2019; Rosa *et al.*, 2020). O parque e os fragmentos florestais ao seu redor se encontram próximos à uma das principais rotas terrestres utilizadas para o comércio de animais silvestres no sudeste do Brasil (Renctas, 2001). Além disso, de acordo com o Centro de Biodiversidade da Usipa (CEBUS), uma instituição zoológica localizada na região, dentre o grupo de primatas, os saguis são os animais mais comumente presentes neste centro, sendo a grande maioria provenientes, principalmente, da criação ilegal de animais silvestres (Usipa, 2020).

Embora os fragmentos florestais da região norte estejam ocupados por saguis, não mostrou ser uma área potencial de dispersão desses calitriquídeos em direção ao PERD. As características físicas do rio Piracicaba, como largura e profundidade, bem como a falta de conectividade (i.e., presença de pontes), podem dificultar a dispersão dos primatas invasores para o parque (Benchimol e Peres, 2013). Aliado a isso, os registros obtidos à oeste do rio Piracicaba, foram, predominantemente, de indivíduos com características fenotípicas de *C. geoffroyi*, *C. penicillata* e suas formas híbridas, e nenhum indivíduo puro ou híbrido com fenótipo de *C. aurita*. Sendo assim, apesar das áreas de distribuição de *C. aurita* e *C. geoffroyi* serem próximas, a espécie nativa do PERD parece não ter se dispersado naturalmente para a área original de *C. geoffroyi*, corroborando com a distribuição geográfica dita por Melo e Rylands (2008). A presença da matriz antrópica (i.e., área urbanizada) entre os fragmentos dessa região pode dificultar o movimento dos primatas, por representar alto risco de choques em redes elétricas e atropelamentos, em caso de travessia dos saguis pelos fios e pelas ruas (Milagres, 2015).

Apesar da região norte não representar uma ameaça ao *C. aurita*, um ponto de alerta nesses fragmentos é a presença de grupos puros da espécie nativa, *C. geoffroyi*, próximos a grupos que continham indivíduos de *C. penicillata* e híbridos entre as duas espécies, evidenciando a gravidade da invasão de *C. penicillata*, neste caso, para o *C. geoffroyi*. Embora a população dessa espécie nativa não estar em declínio e não se encontrar ameaçada de extinção em nível nacional, a sua população pode ser afetada em escala local, em decorrência do processo de hibridação e competição com *C. penicillata*.

Já na região leste do rio Doce, observamos a presença da espécie nativa dessa área, o *C. flaviceps*. Recentemente, essa espécie entrou pela primeira vez na lista dos 25 primatas mais ameaçados de extinção do mundo, devido ao declínio populacional da espécie e a distribuição geográfica restrita (Melo *et al.*, 2022). Igualmente para *C. aurita*, a população de

*C. flaviceps* em outras regiões tem sido fortemente afetada em decorrência da presença de congêneres invasores, resultado da competição ecológica e da hibridação (Malukiewicz *et al.*, 2021). Esse fator também foi observado nessa região do parque, porém, *C. aurita* seria a espécie invasora nesse local, já que observamos a presença de dois indivíduos híbridos contendo fenótipo entre *C. flaviceps* e *C. aurita*. A hibridação entre essas duas espécies é observada em zonas naturais de contato (Ferrari e Mendes, 1991; Mendes, 1997; Melo, 1999). No entanto, no caso da região leste do PERD, o rio Doce atua como o limite de distribuição entre *C. aurita* e *C. flaviceps* (Rylands *et al.*, 2009). Contudo, a presença das pontes pode facilitar a dispersão desses saguis, favorecendo tanto a saída de *C. aurita* do PERD para fragmentos florestais no seu entorno, já que os indivíduos híbridos entre as duas espécies foram observados a menos de 1 km distantes de uma das pontes, quanto favorecer a entrada de *C. flaviceps* para o interior do parque. Corroborando essa nossa hipótese, Keesen *et al.* (2016) registraram a presença de *C. flaviceps* no interior do PERD, este atuando como espécie invasora e ameaça ao *C. aurita*. Outro estudo realizado nessa mesma área fora do parque, observou a presença apenas de *C. penicillata* nesse fragmento florestal, não evidenciando a presença de *C. aurita* (Do Carmo, 2022).

As demais variáveis avaliadas não tiveram influência na ocupação de *Callithrix* spp., o que pode estar associado à alta plasticidade ecológica (Rylands, 1982; Stevenson e Rylands, 1988; Rylands e Faria, 1993; Rylands, 1996; Hilário e Ferrari, 2015). Vale ressaltar, entretanto, os altos valores de intervalos de confiança das estimativas de probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp., que podem ser um reflexo da baixa estimativa de probabilidade de detecção ( $p < 0,30$ ; MacKenzie *et al.*, 2002). Neste sentido, sugerimos que futuras amostragens usem uma combinação de métodos, tais como a técnica de *playback* em conjunto com câmeras de imagem térmica infravermelha, bem como aumentar o tempo de busca e as sessões de *playback*, a fim de aumentar a probabilidade de detecção de *Callithrix* spp.

Por serem mais tolerantes a habitats fragmentados, os saguis invasores se adaptam bem ao consumo de exsudatos, utilizando-o como fonte alternativa de carboidratos, diferentemente do *C. aurita*, que é mais sensível à fragmentação e à distúrbios antrópicos, tendo os insetos como principal item alimentar e menos adaptados à gomivoria (Ferrari, 1993; Morais Júnior *et al.*, 2008; da Silva *et al.*, 2015). Outro fator relevante que também pode explicar a ausência dessa espécie nessa área, é a destruição do habitat (Marsh, 2003). Como observado por de Oliveira *et al.* (2021), o cenário da zona de amortecimento do PERD é de alta taxa de fragmentação da Mata Atlântica, no qual esse bioma foi sendo substituído por matrizes antrópicas.

Espécies de primatas que fazem uso da matriz da paisagem, como é o caso das espécies invasoras e seus híbridos encontradas nos fragmentos, têm alto potencial de viabilidade em longo prazo, aumentando o seu tamanho populacional, ao passo que, espécies que não utilizam a matriz tendem a diminuir e até mesmo desaparecer no habitat (Laurance, 1991; Marsh, 2003; Pozo-Montuy *et al.*, 2011). Diante disso, a presença de grupos das espécies invasoras de saguis e seus híbridos nas matas presentes nas regiões à oeste do parque, mostram que esses fragmentos são mais vulneráveis à invasão, refletindo o avanço das espécies alóctones, *C. geoffroyi* e *C. penicillata*, para o interior do PERD. Esse resultado evidencia a ameaça ao patrimônio genético da pequena população de *C. aurita* encontrada no interior do parque, facilitando a hibridação, retrocruzamento e introgressão. Isso também é observado no lado leste do PERD, na qual a presença de pontes torna a área mais vulnerável à invasão, facilitando o deslocamento dos saguis e se tornando uma ameaça tanto para *C. aurita*, quanto para *C. flaviceps*.

Diante disso, sugerimos que algumas medidas do PAN PPMA possam ser avaliadas e executadas, visando a translocação da pequena população de *C. aurita* presente no interior do PERD, a fim de garantir a integridade genética da espécie nativa (ICMBio/MMA, 2018), visto que essa área e o seu entorno se encontram dominadas por *C. penicillata* e *C. geoffroyi*. Aliado

a isso, outra medida necessária é o manejo das populações de saguis invasores e seus híbridos nas áreas de ocorrência de *C. flaviceps* e *C. geoffroyi*, diminuindo o avanço da hibridação das espécies nativas com os saguis alóctones nessas áreas (ICMBio/MMA, 2018).

### 3.5. REFERÊNCIAS

- Alharbi, W., & Petrovskii, S. (2018). Effect of complex landscape geometry on the invasive species spread: invasion with stepping stones. *Journal of Theoretical Biology*, v. 464, p. 85-97. doi: 10.1016/j.jtbi.2018.12.019.
- Anderson, J., Rowcliffe, J., & Cowlishaw, G. (2007). Does the matrix matter? A forest primate in a complex agricultural landscape. *Biological Conservation*, 135:212-222.
- Andrén, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportion of suitable habitat: A review. *Oikos*, v. 71, p. 340-346. doi:10.2307/3545823.
- Anzures-Dadda, A. & Manson, R. (2007). Patch and landscape scale effects on howler monkey distribution and abundance in rainforest fragments. *Animal Conservation*, 10:69-76.
- Arroyo-Rodríguez, V., & Mandujano, S. (2009). Conceptualization and measurement of habitat fragmentation from the primates's perspective. *International Journal of Primatology*, v. 30, p. 497-514. doi: 10.1007/s10764-009-9355-0.
- Auricchio, P. 1995. Primatas do Brasil. São Paulo: *Terra Brasilis*. p.184.
- Aximoff, I., Soares, H., Pissinatti, A., Bueno, C. (2016). Registros de *Callithrix aurita* (Primates, Callitrichidae) e seus híbridos no Parque Nacional do Itatiaia. *Oecologia Australis*, v. 20, n. 04, p. 520–525.
- Aximoff, I., Spencer, C., & Vaz, S.M. (2015). Mamíferos de médio e grande porte no Parque Nacional do Itatiaia. *Boletim de Pesquisa do Parque Nacional do Itatiaia*, nº 19: p. 57.
- Barbieri, M.M., & Berger, J.O. (2004). Optimal predictive model selection. *The Annals of Statistics*, v. 32, n. 3, p. 870-897. doi: 10.1214/009053604000000238.

- Benchimol, M., & Peres, C.A. (2014). Predicting primate local extinctions within “real-world” forest fragments: A pan-neotropical analysis. *American Journal of Primatology*: 76:289-302.
- Buckner, J.C., Lynch-Alfaro, J.W., Rylands, A.B., et al. (2015). Biogeography of the marmosets and tamarins (Callitrichidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 82B:413–25. doi:org/10.1016/j.ympev.2014.04.031.
- Carvalho, R.S., Bergallo, H.G., Cronemberger, C., Guimarães-Luiz, T., Souza, C.A.I., Jerusalinsky, L., Knogge, C., Lacerda, W.R., Malukiewicz, J., de Melo, F.R., Moreira, S.B., Pereira, D.G., Pissinatti, A., Port-Carvalho, M., Ruiz-Miranda, C.R., & Wormell, D. (2018). *Callithrix aurita*: a marmoset species on its way to extinction in the Brazilia Atlantic Forest. *Neotropical Primates*, 24:1–8.
- Chailloux, M. (2021). BioDispersal [Python]. Disponível em: <https://github.com/MathieuChailloux/BioDispersal> [Trabalho original publicado em 2018].
- Chiarello, A.G. (2003). Primates of the Brazilian Atlantic forest: the influence of forest fragmentation on survival. *Primates in Fragments: Ecology and Conservation* (ed. by L.K. Marsh), pp. 99-121. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, USA.
- Coimbra-Filho, A.F. (1984). Situação atual dos calitriquideos que ocorrem no Brasil. p. 15-33. In: M.T. de Mello (cd.), *A Primatologia no Brasil*. Sociedade Brasileira de Primatologia, Brasília, D.F.
- Coimbra-Filho, A.F., Pissinatti, A., & Rylands, A.B. (1993). 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: Oxford University Press, p.95-122.
- Côrrea, K.M.; Coutinho, P.E.G., & Ferrari, S.F. (2000). Between-year differences in the feeding ecology of highland marmosets (*Callithrix aurita* and *Callithrix flaviceps*) in south-eastern Brazil. *Journal of Zoology*, London, 252: 421-427.

Cunha, A.A. (2003). Primates in the Serra dos Órgãos National Park: New Records. *Neotropical Primates* 11(1): 49–51.

da Silva, L.G., Ribeiro, M.C., Hasui, É., da Costa, C.A., & da Cunha, R.G.T. (2015). Patch Size, Functional Isolation, Visibility and Matrix Permeability Influences Neotropical Primate Occurrence within Highly Fragmented Landscapes. *Plos one* 10(2): e0114025. doi:10.1371/journal.pone.0114025.

de Melo, F.R., Hilário, R.R., Ferraz, D.S., Pereira, D.G., Bicca-Marques, J.C., Jerusalinsky, L., Mittermeier, R.A., Ruiz-Miranda, C.R., Oliveira, L. & Valença-Montenegro, M.M. (2021). *Callithrix flaviceps* (amended version of 2020 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T3571A191700879. doi:10.2305/IUCN.UK.2021 1.RLTS.T3571A191700879.en.

de Oliveira, B.R., Carvalho-Ribeiro, S.M., & Maia-Barbosa, P.M. (2021). Rio Doce State Park buffer zone: forest fragmentation and land use dynamics. *Environment Development and Sustainability*, 23, 83658376. Doi:10.1007/s10668-020-00969-7

Detogne, N., Ferregueti, A.C., Mello, J.F.F., Santana, M.C., Dias, A.C., Mota, N.C.J., Gonçalves, A.E.C., Souza, C.P., & Bergallo, H.G. (2017). Spatial distribution of buffy-tufted-ear (*Callithrix aurita*) and invasive marmosets (*Callithrix* spp.) in a tropical rainforest reserve in southwestern Brazil. *American Journal of Primatology*, 79:e22718. doi:10.1002/ajp.22718.

Diego, V.H., Ferrari, S.F. & Mendes, F.D.C. (1993). Conservação do sagüi-da-serra (*Callithrix flaviceps*). O papel de matas particulares. In: A Primatologia no Brasil, vol. 4 (M.E. Yamamoto & M.B.C. Sousa, eds.). *Sociedade Brasileira de Primatologia*, Natal, pp. 129-137.

Do Carmo, S.T. (2022). Probabilidade de ocupação e detecção do sagui-da-serra (*Callithrix flaviceps* Thomas, 1903) na RPPN Fazenda Macedônia e em fragmentos de Mata Atlântica no seu entorno, Ipaba, MG. [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

- Doherty, P.F., White, G.C., & Burnham, K.P. (2012). Comparison of model building and selection strategies. *Journal of Ornithology*, v. 152, p. S317-S323. doi: 10.1007/s103360100598-5.
- Driscoll, D.A., Banks, S.C., Barton, P.S., Lindenmayer, D.B., & Smith, A.L. (2013). Conceptual domain of the matrix in fragmented landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 28, n 10, p. 605-613. doi: 10.1016/j.tree.2013.06.010.
- ESRI (2020). Arcgis version 10.8.1 *Environmental Systems Research Institute*. Redlands, California, USA.
- Estrada, A., Garber, P.A., Rylands, A.B., Roos, C., Fernandez-Duque, E., Di Fiore, A., Nekaris, A., Nijman, V., Heymann, E.W., Lambert, J.E., Rovero, F., Barelli, C., Setchell, J.M., Gillespie, T.R., Mittermeier, R.A., Arregoitia, L.V., Guinea, M., Gouveia, S., Dobrovolski, R., Shane, S., Boyle, S.A., Fuentes, A., Mackinnon, K.C., Amato, K.R., Meyer, A.L.S., Wich, S., Sussman, R.W., Pan, R., Kone, I., & Li, B. (2017). Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. *Science Advances*, 3(1), e1600946.
- Ferrari, S.F. & Mendes, S.L. (1991). Buffy-headed marmosets: 10 years on. *Oryx*. v.25, n2. p.105-109.
- Ferrari, S.F. (1993), Ecological differentiation in the Callitrichidae. In. A.B. Rylands (eds.). *Marmosets and Tamarins: Systematics, behaviour and ecology*. New York: *Oxford University Press*, p.314-328.
- Fonseca, G.A.B., Lacher, T.E. Jr, Alves, C. Jr., & Magalhães-Castro, B. (1980). Some ecological aspects of free-living black tufted-ear marmosets (*Callithrix jacchus penicillata*). *Antropologia Contemporâneo*, 3:197.
- Fuzessy, L.F., de Oliveira Silva, I., Malukiewicz, J., Silva, F.F.R., do Carmo Pônzio, M., Boere, V., & Ackermann, R.R. (2014). Morphological variation in wild marmosets (*Callithrix penicillata* and *C. geoffroyi*) and their hybrids. *Evolutionary Biology*, 41(3), 480–493.



Frouz, J., & Kindlmann, P. (2015). Source-Sink Colonization as a Possible Strategy of Insects Living in Temporary Habitats. *PLoS ONE* 10(6): e0127743. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127743>.

Galán-Acedo, C., Arroyo-Rodríguez, V., Cudney-Valenzuela, S.J., & Fahrig, L. (2019). A global assessment of primate responses to landscape structure. *Biological Reviews*: 94:1605-1618.

Grande, T. O., Alencar, R. M., Ribeiro, P. P., & Melo, F. R. (2020). Fragment shape and size, landscape permeability and fragmentation level as predictors of primate occupancy in a region of Brazilian Cerrado. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 42(1), e48339. doi:10.4025/actascibiolsci.v42i1.48339.

Griebeler, E.M., & Gottschalk, E. (2000). An individual based model of the impact of suboptimal habitats on survival of the grey bush cricket, *Platycleis albopunctata* (Orthoptera: Tettigonidae). *J Insect Conserv* 4: 225–237.

Guimarães, A. (1998). Ecologia, comportamento reprodutivo e marcação de cheiro em um grupo de *Callithrix flaviceps* (Callitrichidae, Primates), na Estação Biológica de Caratinga, Minas Gerais. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Guimarães-Lopes, V. P., Gomes, M. R. V. S., Kagueyama, M., Faria, R. C. V., Ribeiro-Filho, O. P., Melo, F. B., & Sartori, S. S. R. (2020). Anatomical parameters of the body and the digestive tract of *Callithrix* sp. Marmosets under the influence of seasonality. *Anatomia Histologia and Embryologia*, 49(4), 511–520.

Guimarães-Lopes, V. P., Gomes, M. R. V. S., Kagueyama, M., Faria, R. C. V., Ribeiro-Filho, O. P., Melo, F. B., & Sartori, S. S. R. (2021). Histometric parameters of the large intestine of hybrid marmosets *Callithrix* sp. under the influence of seasonality. *Anatomia Histologia and Embryologia*, 50(6), 888–896.

Guimarães-Lopes, V.P, Loureiro, N.G., Damo, J.S., Massara, R.L., Melo, F.R., Rodrigues, F.H.G. An endangered native species is being replaced by hybrids: the new normal for primate conservation in the Brazilian Atlantic Forest. [Manuscrito ainda não publicado].

Hilário, R.R., & Ferrari, S.F. (2015). Dense understory and absence of capuchin Monkeys (*Sapajus xanthosternos*) predict higher density of common marmosets (*Callithrix jacchus*) in the Brazilian Northeast. *American Journal of Primatology*, 77(4), 425-433. doi: 10.1002/ajp.22358.

Hirsch, A. (1995). Censo de *Alouatta fusca Geoffroy*, 1812 (Platyrrhini, Atelidae) e qualidade do habitat em dois remanescentes de Mata Atlântica em Minas Gerais. [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Hirsch, A. (2003). Avaliação da Fragmentação do Habitat e Seleção de Áreas Prioritárias para a Conservação dos Primatas da Bacia do Rio Doce, Minas Gerais, Através da Aplicação de um Sistema de Informações Geográficas. [Tese de doutorado]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Hirsch, A.; Toledo, P.P.; Brito, B.F.A de & Rylands, A.B. (1996). Levantamento e "Status" de Conservação de Primatas em Remanescentes de Mata Atlântica nos Vales dos Rios Doce, Manhuaçu e Piracicaba. *Relatório Técnico Final*. FUNDEP/UFMG and FAPEMIG. doi:10.21800/2317-66602018000400014.

ICMBio/MMA. 2018. Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-coleira (PAN PPMA). Brasília.

ICMBio/MMA. 2019. Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Exóticas Invasoras em Unidades de Conservação Federais. Brasília. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/EEI/Guia\\_de\\_Manejo\\_de\\_EEI\\_em\\_UC\\_v3.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/EEI/Guia_de_Manejo_de_EEI_em_UC_v3.pdf).

IEF-Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. (2001). Plano de manejo do Parque Estadual do Rio Doce. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/306>.

Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil/INMET. (2022). Normais Climatológicas. Brasília, Brasil.

Keesen, F., Nunes, A.V., & Scoss, L.M. (2016). Updated list of mammals of Rio Doce State Park, Minas Gerais, Brazil. *Boletim do Museu De Biologia Mello Leitão*, 38(2): 139-162.

Laurance, W.F. (1991). Ecological correlates of extinction proneness in Australian tropical rain forest mammals. *Conservation Biology*, 5:79-89.

Levacov, D., Jerusalinsky, L., & Fialho, M.S. (2011). Levantamento dos primatas recebidos em Centros de Triagem e sua relação com o tráfico de animais silvestres no Brasil. *A primatologia no Brasil* 11, 281-305.

Loureiro, N.G.; Damo, J.S.; & Rodrigues, F.H.G. (2019). Avaliação da presença de espécies de *Callithrix* (Mammalia: Callitrichidae) no Parque Estadual do Rio Doce pelos funcionários e população do entorno. In: XVIII Congresso Brasileiro de Primatologia. Teresópolis. Resumos do XVIII Congresso Brasileiro de Primatologia: Sociedade Brasileira de Primatologia.

Lyra-Neves, R.M., Oliveira, M.A.B., Telino-Júnior, W.R., & dos Santos, E.M. (2007). Comportamentos interespecíficos entre *Callithrix jacchus* (Linnaeus) (Primates, Callitrichidae) e algumas aves de Mata Atlântica, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2007; 24(3):709–16 doi:10.1590/S0101-81752007000300022.

Mackenzie, D.I., Nilchols, J.D., Lachman, G.B., Droege, S., Royle, A., Langtimm, C.A. (2002). Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*, v.83, n. 8, p. 2248–2255.

- Mackenzie, D. I., Nichols, J. D., Royle, J. A., Pollock, K. H., Bailey, L.L, Hines, J.E. (2018). Occupancy Estimation and Modeling: Inferring Patterns and Dynamics of Species Occurrence. 2. ed. London: Elsevier, p. 452-456.
- Malukiewicz, J. (2019). A review of experimental, natural, and anthropogenic hybridization in *Callithrix* marmosets. *International Journal of Primatology*, 40:72–98. doi:10.21800/231766602018000400014.
- Malukiewicz, J., Boere, V., Fuzessy, L.F., Grativol, A.D., Silva, O.I., Pereira, L.C.M, Ruiz-Miranda, C.R., Valença, Y.M., & Stone, A.C. (2015). Natural and anthropogenic hybridization in two species of Eastern Brazilian marmosets (*Callithrix jacchus* and *C. penicillata*). *Plos One.*, 10(6):e0127268. doi:10.1371/journal.pone.0127268.
- Malukiewicz, J., Cartwright, R.A., Curi, N.H.A., Dergam, J.A., Igayara, C.S., Moreira, S.B., Molina, C.V., Nicola, P.A., Noll, A., Passamani, M., Pereira, L.C.M., Pissinatti, A., Ruiz-Miranda, C.R., Silva, D.L., Stone, A.C., Zinner, D., & Roos, C. (2021). Mitogenomic phylogeny of *Callithrix* with special focus on human transferred taxa. *BMC Genomics*, 22, 239. doi:10.1186/s12864-021-07533-1.
- Mandujano, S. & Estrada, A. (2005). Detección de umbrales de área y distancia de aislamiento para la ocupación de fragmentos de selva por monos aulladores, *Alouatta palliata mexicana*, em Los Tuxtlas, México. *Universidad y Ciencia*. UJAT, special number II, pp 23-24.
- MAPBIOMAS. 2021. Coleção 7 da Série Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra n Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1>.
- Marsh, L.K. 2003. The nature of fragmentation. In: Marsh LK, editor. Primates in fragments: ecology in conservation. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. p. 1-10.
- Melo, F.R. (1999). Caracterização molecular de *Callithrix aurita*, *C. flaviceps*, *C. geoffroyi* e de seus prováveis híbridos (Primates, Callitrichinae). [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Melo, F.R., & Rylands, A.B. (2008). *Callithrix aurita* (Geoffroy in Humboldt, 1812). Pp. 735-737. In: Machado, A.B.M.; Drummond, G.M. & Paglia, A.P. (eds.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção - Vol. II. Ministério do Meio Ambiente e Fundação Biodiversitas. 907p.

Melo, F.R., Ferraz, D., Valença, M.M., Oliveira, L.C., Pereira, D.G., & Port-Carvalho, M. (2018). *Callithrix aurita*. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II - Mamíferos. Brasília: ICMBio. p. 206-213.

Melo, F.R., Port-Carvalho, M., Pereira, D.G., Ruiz-Miranda, C.R., Ferraz, D.S., Bicca-Marques, J.C., Jerusalinsky, L., Oliveira, L.C., Valença-Montenegro, M.M., Valle, R.R., da Cunha, R.G.T. & Mittermeier, R.A. (2021). *Callithrix aurita* (amended version of 2020 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T3570A191700629. doi:10.2305/IUCN.UK.2021 1.RLTS.T3570A191700629.en.

Melo, F.R., Vital, O., Carmo, S.T., Carvalho, R.S., Valença-Montenegro, M.M., Mendes, S.L. & Jerusalinsky, L. (2022). BUFFY-HEADED MARMOSSET, *Callithrix flaviceps* (Thomas, 1903). In: R.A. Mittermeier, K.E. Reuter, A.B. Rylands, L. Jerusalinsky, C. Schwitzer, K.B. Strier, J.Ratsimbazafy and T. Humle (eds.), Primates in Peril: The World's 25 Most Endangered Primates 2022–2023, pp. 101–104. IUCN SSC Primate Specialist Group, International Primatological Society, Re:wild, Washington, DC.

Mendes, C.L.S. & Melo, F.R. (2007). Situação atual do sagüi-da-serra (*Callithrix flaviceps*) em fragmentos florestais da Zona da Mata de Minas Gerais. In: A Primatologia no Brasil 10 (J.C.Bicca-Marques, ed.). Sociedade Brasileira de Primatologia, Porto Alegre, pp.163-180.

Mendes, S.L. (1997). Padrões Biogeográficos e Vocais em *Callithrix* do Grupo *jacchus* (Primates, Callitrichidae). [Tese de Doutorado]. Instituto de Biologia. UNICAMP, Campinas.

- Menezes, A.A.L., Moreira, L.F.S., Azevedo, C.V.M., Costa, S.F. & Castro, C.S.S. (1993). Behavioral rhythms in the captive common marmosets (*Callithrix jacchus*) under natural environmental conditions. *Brazilian Journal Medical Biologic Research*, 26: 741–745.
- Metzger, J.P., Martensen, A.C., Dixo, M., Bernacci, L.C., Ribeiro, M.C., Teixeira, A.M.G., & Pardini, R. (2009). Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamics Atlantic forest region. *Biological Conservation*, 142: 1166–1177, 10.1016/j.biocon.2009.01.033.
- Milagres, A.P. (2015). Caracterização dos sítios de dormida de saguis híbridos, *Callithrix* sp. (MAMMALIA, PRIMATES), em um fragmento florestal urbano. [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
- Miranda, G.H.B., & Faria, D.S. (2001). Ecological aspects of black-pinellated marmoset (*Callithrix penicillata*) in the cerradão and dense cerrado of the Brazilian central plateau. *Brazilian Journal of Biology*, 61(3), 397-404. doi:10.1590/S15196984200100300008.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2022). Portaria nº148, de 07 de junho de 2022. Diário Oficial da União, Seção 1, DOU 108 de 08 de junho de 2022, p.74.
- Morais Júnior, M.M., Ruiz-Miranda, C.R., Grativol, A.D., Andrade, C.C., Lima, C.S., Martins, A., & Beck, B.B. (2008). Os sagüis, *Callithrix jacchus* e *penicillata*, como espécies invasoras na região de ocorrência do mico-leão dourado. In: Oliveira, P. P.; Grativol, A. D.; Ruiz-Miranda, C. R. (eds.) Conservação do mico-leão-dourado: Enfrentando os desafios de uma paisagem fragmentada. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Centro de Biociências e Biotecnologia; Laboratório de Ciências Ambientais, pp: 86-117.
- Moraes, A.M., Vancine, M.H., Moraes, AM., Cordeiro, C.L., Pinto, M.P., Lima, A.A., Culot, L., Silva, T.F.S., Collevatti, R.G., Ribeiro, M.C., & Sobral-Souza, T. (2019). Predicting the potential hybridization zones between native and invasive marmosets within Neotropical

biodiversity hotspots. *Global Ecology and Conservation*: v. 20:e00706. doi: 10.1016/j.gecco.2019.e00706.

Muskin, A. (1984). Field notes and geographic distribution of *Callithrix aurita* in eastern Brazil. *American Journal of Primatology*, 7: 377-380.

Neves, L. G. (2008). Distribuição Geográfica e Conservação de *Callithrix kuhlii* (Coimbra-Filho, 1985) (PRIMATES, CALLITHRICHIDAE) No Sul da Bahia, Brasil. p. 395–430.

Neves, L.G., Jerusalinsky, L., Pereira, D.G., Bicca-Marques, J.C., Rylands, A.B. & Mittermeier, R.A. (2021). *Callithrix kuhlii* (amended version of 2019 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species 2021*: e.T3575A191701453. doi:10.2305/IUCN.UK.20211.RLTS.T3575A191701453.en.

Oliveira, L.C., & Grelle, C.E.V. (2012). Introduced primate species of na Atlantic Forest region in Brazil: present and future implications for the native fauna. *Tropical Conservation Science*, 5(1):112–20. doi:10.1177/194008291200500110.

Passamani, M., Rylands, A.B. (2000). Feeding Behavior of Geoffroy's Marmoset (*Callithrix geoffroyi*) in an Atlantic Forest Fragment of South-eastern Brazil. *Primates*, 41 (1): 27-38.

Benchimol, M., & Peres, C. A. (2013). Anthropogenic modulators of species–área relationships in neotropical primates: A continental-scale analysis of fragmented forest landscapes. *Diversity and Distributions*, 19(11), 1339– 1352.

Pereira D.G., Oliveira M.E.A., & Ruiz-Miranda C. R. (2008). Interações entre calitriquídeos exóticos e nativos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos - RJ. *Espaço e Geografia* 11: 67 94.

Pereira, L. A., Campo, V.E.W., Gestich, C.C., Ribeiro, M.C., & Culot, L. (2022). Erosion of primate functional diversity in small and isolated forest patches within movement-resistant landscapes. *Animal Conservation*, 25:782-795.

- Pozo-Montuy, G., Serio-Silva, J.C., & Bonilla-Sánchez, Y.M. (2011). Influence of the landscape matrix on the abundance of arboreal primates in fragmented landscapes. *Primates*, 52: 139-147. pmid:21210179.
- Pulliam, R.H. (1988). Sources, sinks, and population regulation. *Am Nat* 132: 652–661.
- QGIS (2022). QGIS [software GIS]. Versão 3.28.2. QGIS Geographic Information System.
- Modesto, T. C., & de Bergallo, H. G. (2008). Different environment, different amount of time spent in activities: the case of two mixed groups of the exotic *Callithrix* spp. at Ilha Grande, RJ, Brazil. *Neotropical Biology and Conservation*, 3(3), 112-118.
- Raboy, B.E., & Dietz, J.M. (2004). Diet, foraging and use of space in wild Golden-Headed Lion Tamarins. *American Journal of Primatology*, 63: 1-15.
- Renctas. 2001. 1º Relatório Nacional Sobre o Tráfico de Fauna Silvestre. Disponível em: [https://www.renctas.org.br/wpcontent/uploads/2014/02/REL\\_RENCTAS\\_pt\\_final.df](https://www.renctas.org.br/wpcontent/uploads/2014/02/REL_RENCTAS_pt_final.df).
- Ricketts, T.H. (2001). The matrix matters: Effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*, 158:87–99. doi: 10.1086/320863.
- Rocha, L. C. (2021). As Tragédias de Mariana e Brumadinho: É Prejuízo? Para Quem? *Caderno de Geografia*, 31(1), 184-195. doi:10.5752/P.23182962.2021v31nesp1p184.
- Rosa, C.A., Ribeiro, B.R., Bejarano, V., Puertas F.H., Bocchiglieri A., *et al.* (2020). Neotropical Alien Mammals: a data set of occurrence and abundance of alien mammals in the Neotropics. *Ecology*, 101: e03115. doi: 10.1002/ecy.3115.
- Ruiz-Miranda, C. R., Morais Júnior, M. M., Paula, V. R., Grativol, A. D., & Rambaldi, D. M. (2011). Vítimas e vilões: o problema dos saguis introduzidos no Rio de Janeiro. *Ciência Hoje*, 48: 44-49.
- Ruiz-Miranda, C.R. (2005). Primatas invasores: oportunidade ou problema? Livro de Resumos do XI Congresso Brasileiro de Primatologia: Desafios para a Conservação em Paisagens Fragmentadas. Porto Alegre, RS, Brasil. p. 58.



- Ruiz-Miranda, C.R., Affonso, A.G., Morais, M.M., Verona, C.E., Martins, A., & Beck B. (2006). Behavioral and ecological interactions between reintroduced golden lion tamarins (*Leontopithecus rosalia* Linnaeus, 1766) and introduced marmosets (*Callithrix spp.*, Linnaeus, 1758) in Brazilian Atlantic Coast Forest fragments. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49, 99-109.
- Rylands, A.B. & Faria, D.S. (1993). Habitats, feeding ecology, and home range size in the genus *Callithrix*. In A.B. Rylands (Ed.), *Marmosets and tamarins: Systematics, behaviour, and ecology* (pp. 262–272). Oxford: *Oxford University Press*.
- Rylands, A.B. (1982). The behaviour and ecology of three species of marmosets and tamarins (*Callitrichidae*, Primates) in Brazil. [Unpublished doctoral dissertation]. University of Cambridge.
- Rylands, A.B. (1996). Habitat and the evolution of social and reproductive behaviour in *Callitrichidae*. *American Journal of Primatology*, 38:5-18.
- Rylands, A.B., Coimbra-Filho, A.F., & Mittermeier, R.A. (2009). The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and *Callimico* (*Callimico*) (*Callitrichidae*, Primates). In: *The Smallest Anthropoids*. Boston, MA. *Springer Science*, p. 25–61.
- Sales, I.S., Ruiz-Miranda, C.R., & Santos, C.P. (2010). Helminths found in marmosets (*Callithrix penicillata* and *Callithrix jacchus*) introduced to the region of occurrence of golden lion tamarins (*Leontopithecus rosalia*) in Brazil. *Veterinary Parasitology*, 171(1–2):123–9. doi:10.1016/j.vetpar.2010.02.044.
- Sales, L.P., Hayward, M.W., Zambaldi, L., Passamani, M., Melo, F.R., & Loyola, R. (2015). Time lags in primate occupancy: a study case using dynamic models. *Natureza & Conservação*, 13 (2): 139-144, ISSN 1679-0073. doi:10.1016/j.ncon.2015.10.003.

- Sampaio, A.B., & Schmidt, I.B. (2013). Espécies Exóticas Invasoras em Unidades de Conservação Federais do Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, 3(2): 32-49.
- Santos, I.B., Vale, C.M.C., Alves, C., & Mittermeier, R.A. (1983). Levantamento preliminar da fauna de primatas do Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PFERD), Timóteo, Minas Gerais, Brasil. In: *Resumos do X Congresso Brasileiro de Zoologia*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Zoologia.
- Secco, H., Grilo, C., & Bager, A. (2018). Habitat selection by the black-tufted marmoset *Callithrix penicillata* in human-disturbed landscapes. *Journal of Tropical Ecology*, 34(2): 135-144. doi: 10.1017/S026646741800007X.
- Silva, F.F.R., Malukiewicz, J., Silva, L.C., Carvalho, R.S., Ruiz-Miranda, C.R., Coelho, F.A.S., Figueira, M.P., Boere, V., & Silva, I. (2018). A survey of wild and introduced marmosets (*Callithrix*: Callitrichidae) in the southern and eastern portions of the state of Minas Gerais, Brazil. *Primate Conservation*, 32:1–18.
- Silva, I.O., Alvarenga, A.B.B., & Boere, V. (2008). Occasional field observations of the predation on mice, dove and ants by black-tufted-ear marmosets (*Callithrix penicillata*). *Neotropical Primates*, 15(2):59–62. doi:10.1896/044.015.0209.
- SOS Mata Atlântica. (2021). Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período 2019 -2020. Disponível em: [https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA\\_Atlas-da-Mata-Atlantica\\_2019-2020.pdf](https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2021/05/SOSMA_Atlas-da-Mata-Atlantica_2019-2020.pdf).
- Stallings J.R., Fonseca G.A.B., Pinto L.P.S., Aguiar L.M.S., Sábato E.L. (1991) Mamíferos do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 7(4): 663-677.
- Stevenson M.F., & Rylands A.B. (1988). The marmosets, genus *Callithrix*. In R. A. Mittermeier, A. B. Rylands, A. F. Coimbra-Filho, & G. A. B. da Fonseca (Eds.), *Ecology and behavior of neotropical primates* (pp. 131–222) (Vol. 2). Washington: World Wildlife Fund.

Uezu, A., Metzger, J.P., & Vielliard, J.M.E. (2005). Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. *Biological Conservation*, 123:507–519. doi: 10.1016/j.biocon.2005.01.001.

Usipa. (2020). Cebus devolve grande número de animais à natureza em 2020. USIPA. Disponível em: <https://usipa.com.br/index.php/2020/12/11/cebus-devolve-grande-numero-de-animais-a-natureza-em-2020/>.

Vale, C.A do. (2016). Distribuição e potencial de invasão do sagui *Callithrix penicillata* (É. Geoffroy, 1812) no território brasileiro. [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal de Juiz de Fora.

Vetter, D., Hansbauer, M.M., Vegvari, Z., & Storch, I. (2011). Predictors of forest fragmentation sensitivity in neotropical vertebrates: a quantitative review. *Ecography*, 34:1–8.

Vilela, S.L. & Faria, D.S. (2004). Seasonality of the activity pattern of *Callithrix penicillate* (Primates, Callitrichidae) in the Cerrado (scrub savanna vegetation). *Brazilian Journal of Biology*, 64 (2): 363-370.

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

Watts, K., Eycott, A.E., Handley, P., Ray, D., Humphrey, J.W., Quine, C.P. (2010). Targeting and evaluating biodiversity conservation action within fragmented landscapes: an approach based on generic focal species and least-cost networks. *Landscape Ecology*, 25: 1305–1318. doi:10.1007/s10980-010-9507-9.

White, G.C., & Burnham, K.P., 1999. Program MARK: Survival Estimation from Populations of Marked Animals. *Bird Study* 46 (Supplement), 120-139.

## Material Suplementar

### Tabelas

Tabela S1 – Valores médios (min. - máx.) das variáveis usadas para modelar a ocupação ( $\Psi$ ) e a probabilidade de detecção ( $p$ ) *Callithrix* spp. em fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil.

Variáveis	Valor médio (mín. – máx.)	Parâmetro
Distância para o PERD (m)	500,4 (0 – 1808,7)	$\Psi$
Pastagem com <i>buffer</i> de raio de 1000m (%)	28,7 (0,04 – 71,0)	$\Psi$
Corpos d'água com <i>buffer</i> de raio de 250m (%)	5,4 (0 – 21,8)	$\Psi$
Formação florestal com <i>buffer</i> de raio de 1000m (%)	38,7 (19,2 – 66,5)	$\Psi$
Floresta plantada com <i>buffer</i> de raio de 100 m (%)	10,7 (0 – 67,3)	$\Psi$
Área urbanizada com <i>buffer</i> de raio de 1000m (%)	11,4 (0 – 67,6)	$\Psi$
Horário (manhã ou tarde)	0 (manhã) e 1 (tarde)	$p$
Tamanho do fragmento (ha)	351,9 (39,0 – 2696,2)	$P$
Precipitação (mm)	0,7 (0 – 6,8)	$p$
Temperatura (°C)	25,2 (24,0 – 26,0)	$p$

Tabela S2 - Resultado da seleção de modelos para os 10 modelos principais compostos pelas probabilidades de ocupação ( $\Psi$ ) e de detecção ( $p$ ) de *Callithrix* spp. em fragmentos florestais ao redor do Parque Estadual do Rio Doce, no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Os modelos foram classificados usando o critério de informação de Akaike ajustado para pequenas amostras (AICc)

<b>Modelos</b>	<b>AICc</b>	<b><math>\Delta</math>AICc</b>	<b>Pesos AICc</b>	<b>Número de parâmetros</b>	<b>-2 log (L)</b>
$\Psi$ (dist_perd) $p$ (hor)	244,14	0,00	0,04	4	233,79
$\Psi$ (dist_perd) $p$ (hor + tam_frag)	244,62	0,48	0,03	5	230,87
$\Psi$ (dist_perd) $p$ (tam_frag)	244,68	0,54	0,03	4	234,33
$\Psi$ (dist_perd) $p$ (.)	244,85	0,71	0,03	3	237,52
$\Psi$ (dist_perd + rio_250) $p$ (tam_frag)	245,05	0,91	0,03	5	231,30
$\Psi$ (dist_perd + rio_250) $p$ (.)	245,47	1,33	0,03	4	235,11
$\Psi$ (dist_perd + rio_250) $p$ (hor)	245,65	1,51	0,02	5	231,90
$\Psi$ (dist_perd + rio_250 + flor_1000) $p$ (tam_frag)	245,67	1,53	0,02	5	231,91
$\Psi$ (.) $p$ (hor)	245,67	1,53	0,02	3	238,34
$\Psi$ (past_1000) $p$ (hor)	245,74	1,60	0,02	4	235,34

dist\_perd = distância para o PERD, hor = horário da pesquisa (manhã e tarde), tam\_frag = tamanho do fragmento, rio\_250 = corpos d'água com *buffer* de raio de 250m, flor\_1000 = formação florestal com *buffer* de raio de 1000m, past\_1000 = área de pastagem com *buffer* de raio de 1000m. O sinal "+" significa um efeito aditivo entre mais de uma covariável avaliada, e o sinal "." significa ausência de variáveis (ou seja, apenas o intercepto).

## Figuras

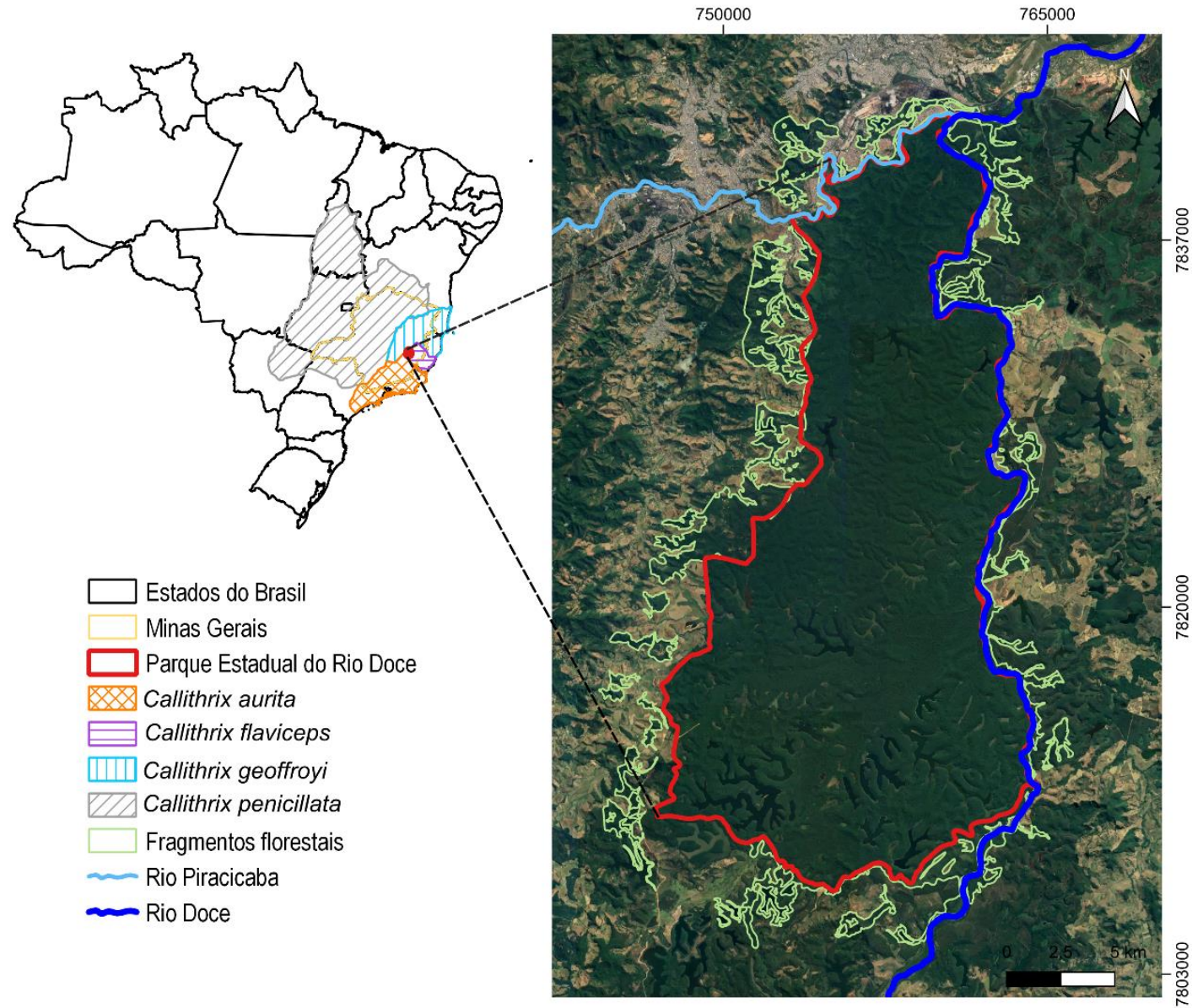


Figura S1 – Distribuição original das espécies de *Callithrix*, localização do Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e dos 22 fragmentos florestais ao seu redor, no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Sistema de Coordenadas Planas, projeção UTM fuso 23 Sul e Datum SIRGAS 2000.

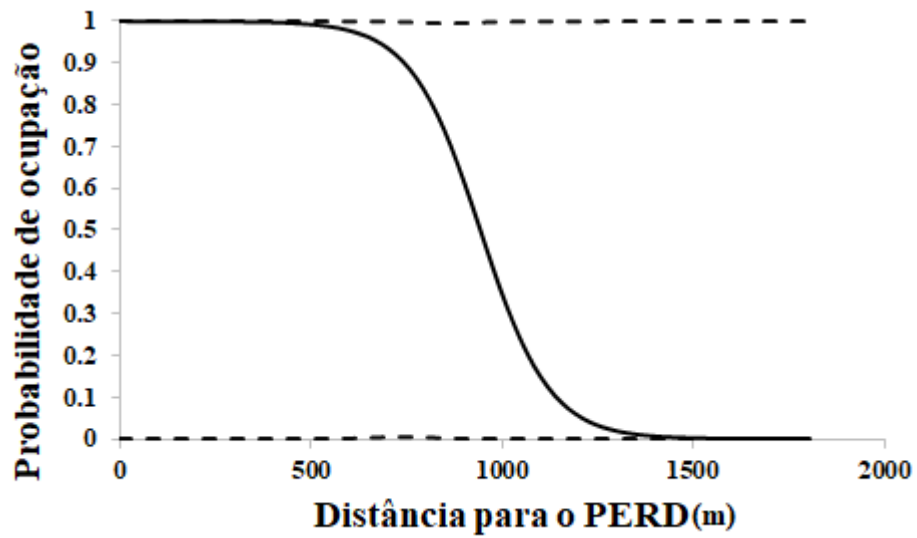


Figura S2 – Efeito da distância entre cada fragmento e o Parque Estadual do Rio Doce (PERD) na probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. nos fragmentos amostrados no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. A estimativa e os ICs de 95% (linha tracejada) foram obtidos a partir do modelo mais parcimonioso contendo a variável.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA A CONSERVAÇÃO DO *Callithrix aurita*

A inédita adaptação do modelo de ocupação N-mixture mostrou eficácia nas estimativas de abundância e probabilidade de detecção para *Callithrix* spp. Os nossos resultados evidenciaram o alto nível de ameaça ao *C. aurita*, já que identificamos grupos de saguis, predominantemente, de indivíduos híbridos entre as espécies invasoras (*C. geoffroyi* e *C. penicillata*) e destas com *C. aurita*. Bem como, observamos que a população da espécie nativa é extremamente baixa, sendo um dos indivíduos identificados presente em um grupo de indivíduos híbridos entre os saguis alóctones. Igualmente, identificamos que a abundância de *Callithrix* spp. é maior em localidades próximas à borda florestal do parque, possivelmente em decorrência da alta disponibilidade de recurso alimentar e abrigos nestas áreas. Este resultado também reflete o alto grau de ameaça para a espécie nativa, tendo em vista que a borda florestal do parque está próxima a fragmentos florestais vizinhos que podem atuar como fonte de novas invasões para o interior do PERD.

De fato, evidenciamos que a probabilidade de ocupação de *Callithrix* spp. foi maior em fragmentos florestais mais próximos ao PERD, e que os fragmentos presentes nas regiões a oeste e sul do parque mostraram ser mais vulneráveis a novas introduções de saguis alóctones, possivelmente por possuírem alta conectividade com o PERD e maior permeabilidade para o deslocamento desses primatas. Estes achados também nos ajudam a elucidar o histórico de introdução e hibridação dos saguis congêneres alóctones no interior do parque, já que estes fragmentos também continham grupos majoritariamente de indivíduos híbridos com caracteres fenotípicos entre *C. penicillata* e *C. geoffroyi*. Sendo assim, os nossos resultados dos fragmentos florestais ao entorno do parque também indicam a grande ameaça dos saguis invasores e seus híbridos para a pequena população de *C. aurita* presente no PERD, bem como para outras duas espécies de saguis nativas de algumas regiões do entorno, sobretudo para *C.*



*flaviceps*, atualmente incluído na lista dos primatas mais ameaçados de extinção do mundo (Melo *et al.*, 2022).

Diante dos resultados encontrados nesse trabalho, observamos que *C. aurita* sofreu uma redução populacional drástica no PERD e não foi registrado nas regiões a oeste e sul do parque, onde deveria ocorrer naturalmente. Por outro lado, como vimos, as populações híbridas das espécies congêneres alóctones estão aumentando nas áreas de ocorrência natural do *C. aurita*. Sendo assim, destacamos a importância de estratégias urgentes para a conservação do *C. aurita* e oferecemos uma orientação com medidas que podem ser realizadas para reverter o grave cenário da espécie no PERD e nas áreas ao seu entorno. As nossas recomendações abrangem ações sugeridas no Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-Coleira (PAN PPMA), no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção e no Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Alóctones Invasoras em Unidades de Conservação Federais (Melo *et al.*, 2018; ICMBio/MMA, 2018, 2019), de forma a unir esforços para a implementação de estratégias que visam mitigar as ameaças para a espécie nativa. Algumas atividades realizadas nesse trabalho contemplam algumas dessas ações sugeridas nos três instrumentos e serão citadas.

#### **4.1. Realizar levantamento populacional em áreas não amostradas**

A primeira medida sugerida está voltada para a realização de novas pesquisas nas áreas do PERD que não foram contempladas nesse estudo, a fim de detectar novos grupos das espécies congêneres alóctones e de *C. aurita*, e ampliar o conhecimento sobre a abundância, ocorrência e ocupação dessas espécies e seus híbridos nas demais áreas do parque. Essa medida está em conformidade com a ação nº 1.2 do PAN PPMA e também foi apontado no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção e no Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Alóctones Invasoras em Unidades de Conservação Federais (Melo *et al.*, 2018; ICMBio/MMA, 2018, 2019). Cabe destacar que essa medida foi contemplada, em parte, durante uma busca

ativa extra que realizamos em outros pontos do parque que não foram amostrados inicialmente nesse estudo, e por isso não fizeram parte da metodologia padrão utilizada nessa pesquisa. Portanto, não foram consideradas para as análises de detecção, abundância e densidade. Nessa busca ativa extra, depois de percorrermos 1011 km, nós conseguimos amostrar um grupo de *C. aurita* (Figura 1A) e quatro grupos compostos por indivíduos híbridos entre as espécies invasoras e a espécie nativa (Figura 1B), ambos na região central do parque. Apesar das áreas não amostradas do PERD serem de difícil acesso, a abordagem extra realizada evidencia a necessidade de novos estudos nessas áreas do parque, para permitir melhor entendimento sobre o tamanho populacional das espécies de *Callithrix* spp. e seus híbridos no PERD.



Figura 1 – Busca ativa extra realizada no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Indivíduo com caracteres fenotípicos de *C. aurita*. (B) Indivíduo híbrido com fenótipo de *C. aurita* x *C. penicillata*. Fotos: Vanessa Guimarães-Lopes.

#### **4.2. Implementar ações de manejo *in situ* e *ex situ* para a espécie nativa**

A segunda medida proposta está voltada para o manejo *in situ* e *ex situ* de *C. aurita*, apontado no objetivo específico nº 2 do PAN PPMA, que propõe: “Manejar populações dos táxons alvo do PAN visando sua viabilidade” (ICMBio/MMA, 2018). Igualmente, essa medida foi apontada no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (Melo *et al.*, 2018), sobretudo para populações de *C. aurita* em Unidade de Conservação. Essa ação é fundamental, tendo em vista que foram encontrados poucos indivíduos de *C. aurita* no parque dominado por espécies invasoras, inclusive, um desses indivíduos da espécie nativa se encontra presente em um grupo composto por indivíduos híbridos. O manejo desses poucos indivíduos para zoológicos, aquários ou criadouros conservacionistas/científicos, são ferramentas importantes para garantir a representação da espécie quanto à variabilidade genética e demográfica, permitindo, quando necessário, a reintrodução de indivíduos e o revigoramento de populações (Chambell, 1980). Portanto, será necessário estabelecer um *studbook* para a população da espécie nativa, a fim de proteger seu fluxo gênico em cativeiro (ICMBio/MMA, 2018). Uma importante iniciativa que vem sendo desenvolvida para a conservação do *C. aurita*, é o Centro de Conservação dos Saguis-da-serra na Universidade Federal de Viçosa (<https://ccss.ufv.br/>). Este centro atua para o desenvolvimento de atividades de conservação *in situ* e *ex situ*, sobretudo para o manejo de populações ameaçadas, como de *C. aurita* e *C. flaviceps*, com a finalidade de proteger essas duas espécies dos impactos ocasionados pelas invasões biológicas e garantir sua integridade genética (La Salles *et al.*, 2022).

#### **4.3. Implementar ações de manejo para as espécies invasoras**

Em paralelo a segunda medida proposta, a terceira medida recomendada é o manejo das espécies congêneres alóctones e seus híbridos, sobretudo em áreas protegidas e fragmentos florestais ao seu redor, como indica o objetivo específico nº 3 do PAN PPMA e no Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Alóctones Invasoras em Unidades de Conservação

Federais, a fim de prevenir a colonização de novas áreas (ICMBio/MMA, 2018, 2019). Esse manejo de fauna irá mitigar os impactos das espécies invasoras e incluem métodos de controle e erradicação (ICMBio/MMA, 2019). Tais métodos procuram reduzir, em longo prazo, a abundância e a densidade da espécie alóctone invasora, ou remover completamente essas espécies da área, fazendo a destinação adequada dessa população (ICMBio/MMA, 2019). A eliminação do potencial reprodutivo dos indivíduos poderia minimizar o processo de hibridação entre os calitriquídeos, no entanto, esse método por si só não elimina os impactos relativos à competição (ICMBio/MMA, 2019). Já a definição do destino dos animais removidos, tais como criadouros científicos, centro de pesquisas ou eutanásia, depende de processos que requerem alto custo financeiro, logísticos e da fase de invasão das espécies alóctones (Veitch e Clout, 2002; Procópio de Oliveira *et al.*, 2008). A erradicação é recomendada sempre quando possível, já que poderia minimizar os impactos em curto e longo prazo. Porém, o tamanho da população e a alta probabilidade de novas introduções são características que podem impedir o sucesso dessa estratégia (Veitch e Clout, 2002; Grativol *et al.*, 2008).

Diante disso, tendo em vista que os nossos resultados evidenciaram uma grande população das espécies invasoras e seus híbridos no interior e em fragmentos florestais ao redor do PERD, e baixa população de *C. aurita*, julgando quase extinta localmente, as ações de controle e erradicação dos saguis alóctones não seriam a melhor alternativa para essa UC. Como vimos, a chance de novas introduções para o interior do PERD é grande, e a erradicação de grandes populações já estabelecidas é pouco provável de sucesso, em relação às populações pequenas em processo de invasão (Pereira, 2010). Desta maneira, a nossa recomendação seria controlar e erradicar os saguis alóctones e os indivíduos híbridos dos fragmentos florestais pequenos, que estão ameaçando as populações de *C. geoffroyi* e *C. flaviceps*, tendo em vista que estas populações nativas ainda se sobrepõem às espécies invasoras e seus híbridos. Sendo neste caso mais viável a erradicação e o controle pela facilidade de captura e sucesso de remoção.

A captura pode ser um processo longo e algumas vezes pode não ter o sucesso esperado, em decorrência das condições da área de campo desfavoráveis e dificuldades logísticas (Morais Jr *et al.*, 2008). Esse foi o resultado que encontramos no nosso estudo, na tentativa de capturar indivíduos de dois grupos no interior do PERD, com a finalidade de realizar análises genéticas e a incidência de patógenos nos indivíduos de *Callithrix* spp. (Mascarenhas *et al.*, 2022). Para essa captura, inicialmente realizamos a fase de habituação dos saguis, cuja duração foi de três meses, a fim de fazer com que os indivíduos se acostumassem à nossa presença. Duas áreas diferentes do PERD foram selecionadas após a detecção com frequência dos calitriquídeos. Nestas áreas foram construídas plataformas de madeira, na qual foram colocados frutos uma vez por dia, pelo período de dois meses (Figura 2A). A fim de atrair os indivíduos, na hora da ceva, nós emitimos vocalizações de chamada longa (*long call*) de *C. flaviceps* ou o choro de um infante de *Callithrix*. No último mês de habituação foram colocadas armadilhas tipo Tomahawk (45cm x 21cm x 21cm), apropriada para capturar *Callithrix* spp. Estas armadilhas foram colocadas nas plataformas de madeira (Figura 2B), em plataformas suspensas (Figura 2C) e em cima de árvores (Figura 2D), juntamente com iscas (frutos), dessa vez para que os animais se acostumassem à presença dessas armadilhas. Posteriormente, foi realizada a fase de captura, na qual foram armadas, ao mesmo tempo e em cada área, dez armadilhas por dia, durante 15 dias. As armadilhas eram abertas e iscadas, inicialmente com frutos, depois com frutos e suplemento alimentar à base de óleo de fígado de bacalhau. O período de abertura era na parte da manhã (6hs), e no período da tarde (13hs) as armadilhas eram checadas, a fim de verificar a presença dos saguis nas gaiolas. Todas as armadilhas foram fechadas no final do dia (18hs), evitando a captura de outros animais durante a noite. Após os 15 dias de tentativa de captura, nenhum sagui foi capturado (Mascarenhas *et al.*, 2022). Diante disso, uma recomendação para o sucesso das capturas de *Callithrix* em áreas florestais maiores, seria aumentar o tempo de habituação desses primatas e o tempo de captura, para aumentar as

chances de sucesso desse procedimento. Aliado a isso, iscas vivas como insetos e larvas, podem ser mais atrativas para os calitriquídeos do que uma diversidade de frutos e a emulsão scott. Igualmente, outra recomendação que pode ser mais efetiva para a captura de *Callithrix*, por se tratar de primatas pequenos, é a utilização da armadilha para rato que contenha o fundo falso e a tampa de balde deslizante.





Figura 2 - Processo de habituação para capturar *Callithrix* spp. no Parque Estadual do Rio Doce (PERD), estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Plataforma de madeira com iscas (frutos). (B) Plataforma de madeira com armadilhas tipo *Tomahawk*. (C) Plataforma de madeira suspensa com armadilhas tipo *Tomahawk*. (D) Armadilha tipo *Tomahawk* sobre árvores. Fotos: Vanessa Guimarães-Lopes.



#### **4.4. Desenvolver ações rotineiras de sensibilização e educação ambiental**

A quarta medida proposta e de fundamental importância são ações de sensibilização e educação ambiental, apontada nas ações nº 3.4, 4.2, 6.5 e 6.8 do PAN PPMA, bem como no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção e no Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Alóctones Invasoras em Unidades de Conservação Federais (Melo *et al.*, 2018; ICMBio/MMA, 2018, 2019). Essas ações vão sensibilizar a população do entorno e os funcionários do parque sobre os impactos das invasões biológicas, como forma de inibir novas introduções incorretas; estimular a ciência-cidadã para auxiliar na identificação de novas populações de *Callithrix* spp. e divulgar a espécie nativa ameaçada de extinção, demonstrando o seu valor como patrimônio natural e sua endemidade. Além disso, evidenciar os impactos e coibir o contato entre primatas humanos e primatas não humanos, sobretudo através da oferta de alimento e criação de saguis como animais de estimação.

Ações de educação ambiental foram contempladas no último ano do nosso trabalho, a fim de sensibilizar as comunidades ao redor do PERD, bem como frequentadores e funcionários no parque. Nas comunidades locais foram realizadas palestras presenciais e virtuais (Figura 3A-B), além de divulgações em jornais locais televisivo e impresso (Figura 3C-D). Essas atividades tinham o objetivo de divulgar o projeto realizado com o *C. aurita* no parque, divulgar a espécie localmente, a problemática das invasões biológicas e os impactos ocasionados. Além disso, criamos uma rede social para difundir as nossas ações, tanto para as comunidades ao redor do parque, quanto para os demais públicos no geral.



Figura 3 – Ações de educação ambiental no Parque Estadual do Rio Doce (PERD) e nas comunidades ao seu entorno, estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. (A) Palestras presenciais realizadas para sensibilizar pesquisadores, funcionários e moradores locais. (B) Palestra virtual realizada para a comunidade. Divulgação do projeto em jornal local televisivo (C) e em jornal impresso (D). Fotos: Vanessa Guimarães-Lopes, Natasha Grosch e Guto Akasaki.

Outras atividades de educação ambiental foram realizadas no PERD com os funcionários, visitantes e comunidade local, no qual elaboramos oficinas ambientais (Figura 4A). Essas oficinas contaram com atividades interativas, tais como a “Prosa com o caveirinha”, cujo objetivo era apresentar, através de fotos, vocalizações e um mapa, as espécies de *Callithrix* existentes e a distribuição original de cada uma (Figura 4B). A partir disso, introduzimos uma conversa sobre as invasões biológicas e os impactos decorrentes dela, sobretudo o processo de hibridação, evidenciando as diferenças fenotípicas entre *C. aurita* e um indivíduo híbrido, através de animais taxidermizados (Figura 4C). Outra atividade foi a oficina de artes “Monte seu caveirinha”, destinada para as crianças pintarem o *C. aurita* com alguns materiais recicláveis (Figura 4D). Realizamos também a “Contação de causos” (Figura 4E), que contava a história do *C. aurita* e a problemática das invasões biológicas. Com o objetivo de divulgar a ação e interagir nas redes sociais com os participantes da oficina, realizamos a atividade “Selfie com a macacada”, criada para o registro fotográfico dos participantes do evento em um painel temático, que incluía todas as espécies de primatas que ocorrem no PERD (Figura 4F). Por fim, foi exposto nos principais pontos turísticos do parque, informações sobre as principais características do *C. aurita*, para nos ajudar a obter, através das pessoas, mais registros da espécie nativa no interior da UC e em fragmentos no seu entorno (Figura 4G). Durante as oficinas, foram entregues panfletos e adesivos em prol da importância de conservar o *C. aurita*, e ficaram expostos banner com informações relevantes da espécie e balas com a seguinte mensagem: “Assim como você foi atraído pelas balas, os macacos também são atraídos por alimentos humanos. #NãoAlimenteosMacacos!” (Figura 4H). Essa informação tinha a finalidade de sensibilizar os envolvidos sobre a problemática da interação entre humanos e primatas não humanos. Parte dessas oficinas foi realizada em parceria com a Universidade Federal de Viçosa, através do Centro de Conservação dos Saguís-da-Serra (CCSS).





Figura 4 – Oficinas de educação ambiental para funcionários e visitantes no Parque Estadual do Rio Doce (A).



Atividade interativa “Prosa com o caveirinha”, com exibição de fotos e vocalizações de cada espécie de *Callithrix* (B). Animais taxidermizados, para evidenciar as diferenças fenotípicas entre *C. aurita* e um indivíduo híbrido (C). Atividade de artes “Monte seu caveirinha”, destinada para as crianças pintarem a espécie nativa (D). História sobre o *C. aurita* e as invasões biológicas através do “Contação de causos” (E). “Selfie com a macacada” para interação com os participantes (F). Informações sobre as principais características do *C. aurita* espalhadas pelos pontos turísticos (G). Balas a mostra como forma de atrair e sensibilizar os funcionários e visitantes (H). Fotos: Vanessa Guimarães-Lopes, Lucas Barreto, Guto Akasaki e Guilherme Lisbeni.

Durante o nosso estudo, percebemos a dificuldade dos *stakeholders*, sobretudo da comunidade local e dos funcionários do parque, em diferenciar o *C. aurita* dos demais indivíduos de *Callithrix*. Dessa forma, nós criamos produtos que tinham a ilustração da espécie nativa. Esses produtos criados incluíam bonés, camisas e canecas, e foram entregues para os principais *stakeholders* que atuaram de forma direta na construção e concretização desse projeto (Figura 5). A intenção dessa atividade era fazer com que os envolvidos da região conseguissem memorizar as principais características fenotípica da espécie, e assim, conseguirmos obter mais registros do *C. aurita* de forma mais efetiva.



Figura 5 - Produtos criados com a ilustração do *C. aurita* para os principais *stakeholders* que atuaram de forma direta no projeto. (A) Camisa e caneca. (B) Boné. Foto: Vanessa Guimarães-Lopes e Lucas Barreto.

Uma recomendação para tornar as ações de educação ambiental mais eficazes e, conseqüentemente, minimizar as invasões biológicas em áreas protegidas, é a realização de capacitações na região com agentes ambientais, corpo de bombeiros, guardas-parque e guias locais, apresentando a fauna nativa da região e os principais animais oriundos do tráfico, que não são espécies endêmicas. Essa ação foi apontada no item n° 3.7 do PAN PPMA, no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção e no Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Alóctones Invasoras em Unidades de Conservação Federais (Melo *et al.*, 2018; ICMBio/MMA, 2018, 2019), a fim de prevenir que a sociedade solte animais no parque e em fragmentos próximos às suas residências, ajudando a evitar novas introduções.

#### **4.5. Avaliar impactos relacionados às doenças**

A quinta medida proposta, que representa também outra linha de ação necessária, envolve as ações n° 5.4, 5.5, 5.7, 6.6 e 6.7 do PAN (ICMBio/MMA, 2018) e foi apontada no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (Melo *et al.*, 2018). Essa ação visa avaliar e mitigar os impactos de doenças nas áreas florestais, de forma a favorecer a conservação das espécies ameaçadas de extinção. Essa medida se mostra essencial para o PERD, tendo em vista que, em uma pesquisa realizada com os macacos-prego do parque, foi observada a presença do vírus Sincicial Respiratório Humano nesses primatas (Guimarães-Lopes *et al.*, *in prep.*). O vírus sincicial respiratório humano é o principal agente etiológico que acomete o trato respiratório, sendo transmitido por gotículas de secreção e contato direto com superfícies contaminadas (Von Linstow *et al.*, 2006; Al-Bashar *et al.*, 2017; Mathai *et al.*, 2021). Atualmente, essa doença respiratória é a principal causa de mortalidade entre grandes símios (gorila, chimpanzé e bonobos) (Grützmacher *et al.*, 2018; Negrey *et al.*, 2019). Entretanto, não havia relatos da presença desse vírus em primatas neotropicais, e até o momento, poucos estudos fizeram testes para detectar esse vírus nesses primatas (Solorio, 2015). Sendo assim, sabendo que há um contato direto entre os macacos-prego e os saguis no PERD (observação pessoal), faz-se

necessário novos estudos a fim de prevenir novos impactos para a pequena população de *C. aurita*.

#### **4.6. Incentivar estudos genéticos**

Como apontado no Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (Melo *et al.*, 2018), a sexta medida proposta são estudos sobre a genética dos calitriquídeos presentes no PERD, com a finalidade de avaliar o fluxo gênico e, conseqüentemente, a estrutura genética dos indivíduos. Com a informação sobre o fluxo gênico desses primatas, provavelmente pode-se inferir as possíveis alterações cromossômicas de animais híbridos, em qual fase se encontra a introdução dos saguis invasores na região estudada e o processo de introgressão gênica nessas populações (Allendorf e Lundquist, 2003). Essa avaliação pode contribuir para um plano de manejo mais eficiente.

#### **4.7. Inserir novas abordagens tecnológicas**

A sétima recomendação refere-se ao uso de novos equipamentos e tecnologias, que também mostram ser eficazes para os levantamentos populacionais e monitoramento de espécies arbóricolas, como para *Callithrix*, através de armadilhas fotográficas, câmeras termais e veículos aéreos não tripulado (drones) (Kaizer *et al.*, 2021; Melo, 2021). Durante o nosso levantamento populacional no PERD, a difícil visualização do indivíduo com caracteres fenotípicos de *C. aurita* puro, que estava presente no grupo que continha indivíduos híbridos, fez com que utilizássemos uma armadilha fotográfica para permitir a sua visualização e confirmação da espécie (Figura 6). Esse equipamento foi instalado para obtenção de fotos e vídeos de 15s, e ficou instalado por 3 meses em um ponto estratégico no qual o grupo estava sempre presente. Essa abordagem mostrou ser eficiente para a obtenção de dados essenciais, tais como o registro dos indivíduos, a caracterização da espécie, o horário de atividade do grupo,



a classificação sexo-etária de alguns indivíduos e a presença de predadores.



Figura 6 - Armadilha fotográfica (A) para visualizar um grupo de *Callithrix* (B) no Parque Estadual do Rio Doce. Foto: Vanessa Guimarães-Lopes.



#### **4.8. Desenvolver estratégias de fomento para financiamento das ações e novas parcerias**

Conforme apontado na ação n° 6.4 do PAN (ICMBio/MMA, 2018), a oitava medida sugerida é a de estratégias que visam mobilizar recursos para viabilizar a implementação das ações urgentes para a conservação do *C. aurita*. A articulação com órgãos de fomento é essencial para o financiamento das ações necessárias e para a proteção da espécie.

Por fim, destacamos a importância de parcerias com as universidades, com os agentes do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Primatas Brasileiros (CPB/ICMBio) e demais pesquisadores que atuam em Programas de Conservação do *C. aurita*, para que as medidas sugeridas nesse estudo possam ser revisadas e otimizadas, visando um efeito benéfico e mais efetivo para a conservação da espécie endêmica do PERD, a fim de assegurar a sobrevivência dessa espécie. A decisão final para determinar a melhor estratégia de intervenção e combate às espécies congêneres alóctones e a conservação do *C. aurita*, deve contemplar as ações considerando a dificuldade de execução, os custos financeiros e sociais, bem como cada ação afetaria a população de saguis, além de incluir as questões éticas e de bem-estar-animal (Morais Jr *et al.*, 2008).

#### **4.9. REFERÊNCIAS**

- Al-Bashar, S.H., Badawy, A.S., & Mohammed, B.A. (2017) Real time-PCR, ELISA, as an identification method for Detection respiratory syncytial virus in children. *Tikrit Journal of Pure Science*, 22(2), 33-42.
- Allendorf, W.F., & Lundquist, L.L. (2003). Introduction: Population Biology, Evolution, and Control of Invasive Species. *Conservation Biology*, v.17(1), p 24-30.
- Anderson, J., Rowcliffe, J., & Cowlishaw, G. (2007). Does the matrix matter? A forest primate in a complex agricultural landscape. *Biological Conservation*, 135:212-222.

- Andrén, H. (1994). Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportion of suitable habitat: A review. *Oikos*, 71: 340-346. doi:10.2307/3545823.
- Arroyo-Rodríguez, V., & Mandujano, S. (2009). Conceptualization and measurement of habitat fragmentation from the primates's perspective. *International Journal of Primatology*, 30: 497-514. doi: 10.1007/s10764-009-9355-0.
- Auricchio, P. 1995. Primatas do Brasil. São Paulo: *Terra Brasilis*. 184p.
- Aximoff, I., Soares, H., Pissinatti, A., & Bueno, C. (2016). Registros de *Callithrix aurita* (Primates, Callitrichidae) e seus híbridos no Parque Nacional do Itatiaia. *Oecologia Australis*, 20 (4): 520–525.
- Brandão, L.D. (1999). Distribuição altitudinal e ambiente preferencial de *Callithrix aurita* Humboldt, 1812 (CALLITRICHIDAE, PRIMATES) na Estação Ecológica de Bananal, Serra da Bocaina, São Paulo, Brasil. [Dissertação de Mestrado], Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Brandão, L.D., & Develey, P.F. (1998). Distribution and conservation of the buffy-tufted-ear marmoset, *Callithrix aurita*, in lowland coastal Atlantic forest, south-east Brazil. *Neotropical Primates*, 6 (3): 86–88.
- Buckner, J.C., Lynch-Alfaro, J.W., Rylands, A.B., et al. (2015). Biogeography of the marmosets and tamarins (Callitrichidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 82B:413–25. doi:org/10.1016/j.ympev.2014.04.031.
- Chapman, S. (1980). Is reintroduction a realistic goal? In: M. E. Soulé; B. A. Wilcox (eds.), *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*, pp.263-269. Sinauer Associates Inc., Massachusetts.
- Chiarello, A.G. (2000a). Conservation value of a native forest fragment in a region of extensive agriculture. *Revista Brasileira de Biologia*, 60 (2): 237-247.

- Coimbra-Filho, A. F.; Pissinatti, A., & Rylands, A. B. (1993). Experimental multiple hybridism among *Callithrix* species from eastern Brazil. In: Rylands, A. B. ed. Marmosets and tamarins: systematics, ecology and behavior. Oxford, *Oxford University Press*. p.95-120.
- Corrêa, H.K.M. (1995). Ecologia e comportamento alimentar de um grupo de saguis-da-serra-escuros (*Callithrix aurita* E. Geoffroy, 1812) no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, São Paulo, Brasil. [Tese de Doutorado], Universidade Federal de Minas Gerais.
- Côrrea, K.M., Coutinho, P.E.G., & Ferrari, S.F. (2000). Between-year differences in the feeding ecology of highland marmosets (*Callithrix aurita* and *Callithrix flaviceps*) in south-eastern Brazil. *Journal of Zoology*, London, 252: 421-427.
- D'Eon, R.G., Glenn, S.M., Parfitt, I., & Fortin, M.J. (2002). Landscape connectivity as a function of scale and organism agility in a real forested landscape. *Conservation Ecology*, 6: 1-10.
- da Silva, L.G., Ribeiro, M.C., Hasui, É., da Costa, C.A., & da Cunha, R.G.T. (2015). Patch Size, Functional Isolation, Visibility and Matrix Permeability Influences Neotropical Primate Occurrence within Highly Fragmented Landscapes. *Plos one*, 10(2): e0114025. doi:10.1371/journal.pone.0114025.
- de Melo, F.R., Hilário, R.R., Ferraz, D.S., Pereira, D.G., Bicca-Marques, J.C., Jerusalinsky, L., Mittermeier, R.A., Ruiz-Miranda, C.R., Oliveira, L., & Valença-Montenegro, M.M. (2021). *Callithrix flaviceps* (amended version of 2020 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T3571A191700879. doi:10.2305/IUCN.UK.2021.1.RLTS.T3571A191700879.en.
- Detogne, N., Ferregueti, A.C., Mello, J.F.F., Santana, M.C., Dias, A.C., Mota, N.C.J., Gonçalves, A.E.C., Souza, C.P., & Bergallo, H.G. (2017). Spatial distribution of buffy-tufted-ear (*Callithrix aurita*) and invasive marmosets (*Callithrix* spp.) in a tropical rainforest reserve in southwestern Brazil. *American Journal of Primatology*, 79:e22718. doi:10.1002/ajp.22718.

- Driscoll, D.A., Banks, S.C., Barton, P.S., Lindenmayer, D.B., & Smith, A.L. (2013). Conceptual domain of the matrix in fragmented landscapes. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 28, n 10, p. 605-613. doi: 10.1016/j.tree.2013.06.010.
- Estrada, A., Garber, P.A., Rylands, A.B., Roos, C., Fernandez-Duque, E., Di Fiore, A., Nekaris, A., Nijman, V., Heymann, E.W., Lambert, J.E., Rovero, F., Barelli, C., Setchell, J.M., Gillespie, T.R., Mittermeier, R.A., Arregoitia, L.V., Guinea, M., Gouveia, S., Dobrovolski, R., Shane, S., Boyle, S.A., Fuentes, A., Mackinnon, K.C., Amato, K.R., Meyer, A.L.S., Wich, S., Sussman, R.W., Pan, R., Kone, I., & Li, B. (2017). Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. *Science Advances*, 3(1), e1600946.
- Ferrari, S.F. (1993). Ecological differentiation in the Callitrichidae. In: A.B. Rylands (eds.). *Marmosets and Tamarins: Systematics, behaviour and ecology*. New York: Oxford University Press, p.314-328.
- Fuzessy, L.F., de Oliveira Silva, I., Malukiewicz, J., Silva, F.F.R., do Carmo Pônzio, M., Boere, V., & Ackermann, R.R. (2014). Morphological variation in wild marmosets (*Callithrix penicillata* and *C. geoffroyi*) and their hybrids. *Evolutionary Biology*, 41(3): 480–493.
- Grativol, A.D.; Ruiz-Miranda, C.R., Teixeira, A.M.G., & Schmidt, M.A.R. (2008). Abordagem de metapopulação para a conservação dos micos-leões-dourados na paisagem fragmentada da bacia do Rio São João, RJ. In: Oliveira, P.P., Grativol, A.D., Ruiz-Miranda, C.R. (Org.), *Conservação do mico-leão-dourado: enfrentando os desafios de uma paisagem fragmentada*. 1. ed. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, v. 1. p.136-159.
- Grützmacher, K.S., Keil, V., Metzger, S., Wittiger, L., Herbinger, I., Calvignac-Spencer, S., Mätz-Rensing, K., Haggis, O., Savary, L., & Köndgen, S. (2018) Human respiratory syncytial virus and *Streptococcus pneumoniae* infection in wild bonobos. *EcoHealth*, (15) 462–466.

Gurd, D.B.; Nudds, T.D., & Rivard, D.H. (2001). Conservation of mammals in eastern North American wildlife reserves: how small is too small. *Conservation Biology*, 15: 1355-1363.

Hanski, I., Moilanen, A., & Gyllenberg, M. (1996). Minimum viable metapopulation size. *American Naturalist*, 147: 527-41.

ICMBio/MMA. (2019). Guia de Orientação para o Manejo de Espécies Exóticas Invasoras em Unidades de Conservação Federais. Brasília. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/EEI/Guia\\_de\\_Manejo\\_de\\_EEI\\_em\\_UC\\_v3.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cbc/images/stories/Publica%C3%A7%C3%B5es/EEI/Guia_de_Manejo_de_EEI_em_UC_v3.pdf).

ICMBio/MMA. 2018. Plano de Ação Nacional para a Conservação dos Primatas da Mata Atlântica e da Preguiça-de-coleira (PAN PPMA). Brasília.

IEF-Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. (2001). Plano de manejo do Parque Estadual do Rio Doce. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/306>.

Kaizer, M.C., Alvim, T., Novaes, C., McDevitt, A., & Young, R. (2021). Snapshot of the Atlantic Forest canopy: surveying arboreal mammals in a biodiversity hotspot. *Oryx*, 56(6), 825-836. Doi:10.1017/S0030605321001563.

La Salles, A.Y.F., Mascarenhas, I.N., Voorwald, F.A. & Melo, F.R. (2022). Centro de Conservação dos Saguis-da-Serra: o pioneiro em prol da conservação das duas espécies de saguis-da-serra. *Boletim Técnico SIF* (5): .1-7. <http://dx.doi.org/10.53661/2763-686020220000005>.

Levacov, D., Jerusalinsky, L., & Fialho, M.S. (2011). Levantamento dos primatas recebidos em Centros de Triagem e sua relação com o tráfico de animais silvestres no Brasil. *A primatologia no Brasil*, 11, 281-305.

Leverington, F., Costa, K.L., Pavese, H., Lisle, A., & Hockings. (2010). A Global Analysis of Protected Area Management Effectiveness. *Environmental Management*, 46: 685-698.

Malukiewicz, J., Boere, V., Fuzessy, L.F., Grativol, A.D., Silva, O.I., Pereira, L.C.M, Ruiz-Miranda, C.R., Valença, Y.M., & Stone, A.C. (2015). Natural and anthropogenic hybridization in two species of Eastern Brazilian marmosets (*Callithrix jacchus* and *C. penicillata*). *Plos One.*, 10(6):e0127268. doi:10.1371/journal.pone.0127268.

Mascarenhas, I.N., Ávila, L.V., La Salles, A.Y.F., Guimarães-Lopes, V., Loureiro, N.G., Rodrigues, F.G., Massara, R.L. & Melo, F.R. (2022). Captura e coleta de amostras biológicas de primatas não humanos no maior remanescente de Mata Atlântica de Minas Gerais: compreendendo os riscos para a saúde pública e para a conservação da biodiversidade. *Boletim Técnico SIF* (7): 1-9. <http://dx.doi.org/10.53661/2763-686020220000007>.

Mathai, V., Das, A., Bailey, J.A., & Breuer, K. (2021) Airflows inside passenger cars and implications for airborne disease transmission. *Science Advances* 7(1):eabe0166. doi: 10.1126/sciadv.abe0166. PMID: 33277325; PMCID: PMC7775778.

Melo, F. R., Ferraz, D., Valença, M.M., Oliveira, L.C., Pereira, D.G., & Port-Carvalho, M. (2018). *Callithrix aurita*. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (Org.). *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II - Mamíferos*. Brasília: ICMBio. p. 206-213.

Melo, F.R., & Rylands, A.B. (2008). *Callithrix aurita* (Geoffroy in Humboldt, 1812). Pp. 735-737. In: Machado, A.B.M.; Drummond, G.M. & Paglia, A.P. (eds.). *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção - Vol. II*. Ministério do Meio Ambiente e Fundação Biodiversitas. 907p.

Melo, F.R., Ferraz, D., Valença, M.M., Oliveira, L.C., Pereira, D.G., & Port-Carvalho, M. (2018). *Callithrix aurita*. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Org.

Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume II - Mamíferos. Brasília: ICMBio, p. 206-213.

Melo, F.R., Port-Carvalho, M., Pereira, D.G., Ruiz-Miranda, C.R., Ferraz, D.S., Bicca-Marques, J.C., Jerusalinsky, L., Oliveira, L.C., Valença-Montenegro, M.M., Valle, R.R., da Cunha, R.G.T., & Mittermeier, R.A. (2021). *Callithrix aurita* (amended version of 2020 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T3570A191700629. doi:10.2305/IUCN.UK.2021 1.RLTS.T3570A191700629.en.

Melo, F.R., Vital, O., Carmo, S.T., Carvalho, R.S., Valença-Montenegro, M.M., Mendes, S.L. & Jerusalinsky, L. (2022). BUFFY-HEADED MARMOSET, *Callithrix flaviceps* (Thomas, 1903). In: R.A. Mittermeier, K.E. Reuter, A.B. Rylands, L. Jerusalinsky, C. Schwitzer, K.B. Strier, J.Ratsimbazafy and T. Humle (eds.), Primates in Peril: The World's 25 Most Endangered Primates 2022–2023, pp. 101–104. IUCN SSC Primate Specialist Group, International Primatological Society, Re:wild, Washington, DC.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. (2022). Portaria nº148, de 07 de junho de 2022. Diário Oficial da União, Seção 1, DOU 108 de 08 de junho de 2022, p.74.

Moraes, A.M., Vancine, M.H., Moraes, AM., Cordeiro, C.L., Pinto, M.P., Lima, A.A., Culot, L., Silva, T.F.S., Collevatti, R.G., Ribeiro, M.C., & Sobral-Souza, T. (2019). Predicting the potential hybridization zones between native and invasive marmosets within Neotropical biodiversity hotspots. *Global Ecology and Conservation*: v. 20:e00706. doi: 10.1016/j.gecco.2019.e00706.

Morais Júnior, M.M., Ruiz-Miranda, C.R., Grativol, A.D., Andrade, C.C., Lima, C.S., Martins, A., & Beck, B.B. (2008). Os sagüis, *Callithrix jacchus* e *penicillata*, como espécies invasoras na região de ocorrência do mico-leão dourado. In: Oliveira, P. P.; Grativol, A. D.; Ruiz-Miranda, C. R. (eds.) *Conservação do mico-leão-dourado: Enfrentando os desafios de uma*

*paisagem fragmentada*. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Centro de Biociências e Biotecnologia; Laboratório de Ciências Ambientais, pp: 86-117.

Morais Júnior, M.M., Ruiz-Miranda, C.R., Grativol, A.D., Andrade, C.C., Lima, C.S., Martins, A., & Beck, B.B. (2008). Os sagüis, *Callithrix jacchus* e *penicillata*, como espécies invasoras na região de ocorrência do mico-leão dourado. In: Oliveira, P.P., Grativol, A.D., Ruiz-Miranda, C.R. (eds.) Conservação do mico-leão-dourado: Enfrentando os desafios de uma paisagem fragmentada. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Centro de Biociências e Biotecnologia; Laboratório de Ciências Ambientais, pp: 86-117.

Muskin, A. (1984). Field notes and geographic distribution of *Callithrix aurita* in eastern Brazil. *American Journal of Primatology*, 7 (4): 377-380.

Negrey, J.D., Reddy, R.B., Scully, E.J., Phillips-Garcia, S., Owens, L.A., Langergraber, K.E., Mitani, J.C., Emery Thompson, M., Wrangham, R.W., Muller, M.N., Otali, E., Machanda, Z., Hyeroba, D., Grindle, K.A., Pappas, T.E., Palmenberg, A.C., Gern, J.E., & Goldberg, T.L. (2019) Simultaneous outbreaks of respiratory disease in wild chimpanzees caused by distinct viruses of human origin. *Emerging Microbes and Infection*, (8) 139–149.

Neves, L.G., Jerusalinsky, L., Pereira, D.G., Bicca-Marques, J.C., Rylands, A.B., & Mittermeier, R.A. (2021). *Callithrix kuhlii* (amended version of 2019 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species 2021*: e.T3575A191701453. doi:10.2305/IUCN.UK.2021.1.RLTS.T3575A191701453.en.

Pereira D.G., Oliveira M.E.A., & Ruiz-Miranda C. R. (2008). Interações entre calitriquídeos exóticos e nativos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos - RJ. *Espaço e Geografia*, 11: 67-94.



Pereira, D.G. (2010). Densidade, genética e saúde populacional como ferramentas para propor um plano de controle e erradicação de invasão biológica: o caso de *Callithrix aurita* (Primates) no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ, Brasil. [Tese de Doutorado]. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Pessato, R.D. & Dechoum, M.S. (2011). AMANE. Invasões Biológicas: Uma ameaça invisível. *Instituto Hórus – Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental*.

Primack, R.B., & Rodrigues, E. (2001). *Biologia da Conservação*. Londrina: E. Rodrigues. 328 p.

Procópio de Oliveira, P., Nascimento, M.T., Carvalho, F.A., Villela, D., Kierulff, M.C.M., Veruli, V.P., Lapenta, M.J., & da Silva, A.P. (2008). Qualidade do habitat na área de ocorrência do mico-leão-dourado. In: Procópio de Oliveira, P., Grativol, A.D., Ruiz-Miranda, C.R. (Orgs.). *Conservação do Mico-Leão-Dourado: enfrentando os desafios de uma paisagem fragmentada*. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense; Série Ciências Ambientais, v. 3: 14-39.

Ricketts, T.H. (2001). The matrix matters: Effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*, 158:87–99. doi: 10.1086/320863.

Rosa, C.A., Ribeiro, B.R., Bejarano, V., Puertas F.H., Bocchiglieri A., *et al.* (2020). Neotropical Alien Mammals: a data set of occurrence and abundance of alien mammals in the Neotropics. *Ecology*, 101: e03115. doi: 10.1002/ecy.3115.

Ruiz-Miranda, C. R., Morais Júnior, M. M., Paula, V. R., Grativol, A. D., & Rambaldi, D. M. (2011). Vítimas e vilões: o problema dos saguis introduzidos no Rio de Janeiro. *Ciência Hoje*, 48: 44-49.

Ruiz-Miranda, C.R. (2005). Primatas invasores: oportunidade ou problema? *Livro de Resumos do XI Congresso Brasileiro de Primatologia: Desafios para a Conservação em Paisagens Fragmentadas*. Porto Alegre, RS, Brasil.

- Ruiz-Miranda, C.R., Morais Júnior, M.M., Paula, V.R., Grativol, A.D., & Rambaldi, D.M. (2011). Vítimas e vilões: o problema dos saguis introduzidos no Rio de Janeiro. *Ciência Hoje*, 48: 44-49.
- Rylands, A.B., & Faria, D.S. (1993). Habitats, feeding ecology, and home range size in the genus *Callithrix*. In: Rylands, A.R. (ed.) *Marmosets and tamarins: systematics, behavior and ecology*. Oxford University Press, Oxford, p. 262- 272.
- Rylands, A.B., Coimbra-Filho, A.F., & Mittermeier, R.A. (2009). The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and *Callimico* (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: *The Smallest Anthropoids*. Boston, MA. *Springer Science*, p. 25–61.
- Sampaio, A.B., & Schmidt, I.B. (2013). Espécies exóticas invasoras em unidades de conservação federais do Brasil. *Biodiversidade Brasileira*, 2: 32.
- Santos, I.B., Vale, C.M.C., Alves, C., & Mittermeier, R.A. (1983). Levantamento preliminar da fauna de primatas do Parque Florestal Estadual do Rio Doce (PFERD), Timóteo, Minas Gerais, Brasil. In: *Resumos do X Congresso Brasileiro de Zoologia*. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Zoologia.
- Schwitzer, C., Mittermeier, R.A., Rylands, A.B., Chiozza, F., Williamson, E.A., Byler, D., Wich, S., Humle, T., Johnson, C., Mynott, H., & McCabe, G. (2019). *Primates in Peril: The World's 25 Most Endangered Primates 2018-2020*. IUCN SSC Primate Specialist Group (PSG), International Primatological Society (IPS), Global Wildlife Conservation (GWC) and Bristol Zoological Society, Arlington (BZS). Disponível em <https://www.globalwildlife.org/wp-content/uploads/2019/10/Primates-in-Peril-2018-2020-2.pdf>.
- Silva, R.H.P., & Carvalho, A.A. (2015). Avaliação da efetividade de gestão do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. IN: *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação*.

- Solorio, M.R. (2014) Levantamento de agentes infecciosos nas sub-populações de sauí-de-coleira (*Saguinus bicolor*) na cidade de Manaus, Estado de Amazonas. [Tese de doutorado]. Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Stallings J.R., Fonseca G.A.B., Pinto L.P.S., Aguiar L.M.S., Sábato E.L. (1991) Mamíferos do Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 7(4): 663-677.
- Stevenson M.F., & Rylands A.B. (1988). The marmosets, genus *Callithrix*. In R. A. Mittermeier, A. B. Rylands, A. F. Coimbra-Filho, & G. A. B. da Fonseca (Eds.), *Ecology and behavior of neotropical primates*, 2: 131–222. Washington: World Wildlife Fund.
- Terborgh, J. (2003). A Arca de Noé ou porque precisamos de parques. *Natureza & Conservação – Revista Brasileira de Conservação da Natureza* (ISSN 1679-0073), 1 (2): 88.
- Veitch, C.R., & Clout M.N. (2002). Turning the tide: the eradication of invasive species. Group ISISS, editor. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 414 p.