

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora, o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 25/08/2023.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO
E BIODIVERSIDADE

USO DO HABITAT, PADRÕES DE MOVIMENTO E GASTO ENERGÉTICO
DE MICOS-LEÕES-PRETOS (*LEONTOPITHECUS CHRYSOPYGUS*)

GABRIELA CABRAL REZENDE

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO
E BIODIVERSIDADE**

**USO DO HABITAT, PADRÕES DE MOVIMENTO E GASTO ENERGÉTICO
DE MICOS-LEÕES-PRETOS (*LEONTOPITHECUS CHRYSOPYGUS*)**

GABRIELA CABRAL REZENDE

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ecologia, Evolução e Biodiversidade.

Orientadora: Dra. Laurence Culot

Coorientadores: Dr. Luca Börger e
Dr. Ariovaldo P. da Cruz-Neto

**Rio Claro – SP
2022**

R467u Rezende, Gabriela Cabral
Uso do habitat, padrões de movimento e gasto energético de micos-leões-pretos (*Leontopithecus chrysopygus*) / Gabriela Cabral Rezende. -- Rio Claro, 2022
250 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientadora: Laurence Marianne Vincianne Culot
Coorientador: Arioaldo Pereira da Cruz-Neto

1. Ecologia Animal. 2. Primatas não humanos. 3. Locomoção animal. 4. Metabolismo energético. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: USO DO HABITAT, PADRÕES DE MOVIMENTO E GASTO ENERGÉTICO DE MICOS-LEÕES-PRETOS (LEONTOPITHECUS CHRYSOPYGUS)

AUTORA: GABRIELA CABRAL REZENDE


ORIENTADORA: LAURENCE MARIANNE VINCIANNE CULOT

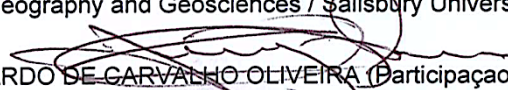
COORIENTADOR: ARIIVALDO PEREIRA DA CRUZ NETO

COORIENTADOR: LUCA BÖRGER

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em ECOLOGIA, EVOLUÇÃO E BIODIVERSIDADE, área: Zoologia pela Comissão Examinadora:


Prof. Dra. LAURENCE MARIANNE VINCIANNE CULOT (Participação Presencial)
Departamento de Biodiversidade / IB Rio Claro


Prof. Dra. ANDREA PRESOTTO (Participação Presencial)
Department of Geography and Geosciences / Salisbury University


Prof. Dr. LEONARDO DE CARVALHO OLIVEIRA (Participação Presencial)
Departamento de Ciências / Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Rio Claro, 25 de agosto de 2022

Dedico à minha filha Sofia,
cujos anos de existência na presente data
coincidem com a duração desse trabalho e
a principal responsável pelo “delineamento”
dessa pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Minha escolha de ingressar no doutorado foi um longo processo. Levei exatos quatro anos entre a defesa do mestrado e a matrícula no doutorado. Pensar que passaria “quatro anos da minha vida me dedicando a um único projeto” soava como tortura para uma geminiana. Mal sabia que esse pensamento tinha dois graves equívocos: 1. “um único projeto” era uma descrição muito leviana para todas as nuances que isso envolve; e 2. Doutorados duram “quatro anos” em CNPT (a.k.a. “Condições Normais de Pressão e Temperatura”), e não quando uma gravidez e uma pandemia resolvem dar uma dinamizada nos planos. Por fim, foram 64 meses em um projeto que de monótono não teve nada. Talvez por isso, já deixo aqui minhas desculpas se você sentir que faz parte desse processo, mas não encontrou seu nome por aqui. Foram tantas pessoas que se fizeram presentes ao longo desse processo, que me faltam palavras para agradecer e memória para lembrar de tanto.

Começo agradecendo aos micos-leões-pretos. Primeiro porque tudo isso foi feito por eles, mas também porque foram os grandes responsáveis por colocar no meu caminho a maioria dessas pessoas que mencionarei a seguir. Com eles, aprendo diariamente. Por eles, tenho trabalhado incansavelmente nos últimos 11 anos. Através deles, luto pelo meu propósito de vida. Espero que os resultados dessa tese sejam de alguma forma úteis para sua conservação.

Começando a lista de pessoas, está meu grande companheiro de todos esses anos (e hoje pai da minha filha, Sofia), Guilherme Garbino, que entrou na minha vida ainda durante o mestrado POR CAUSA dos micos. Resistimos a dois doutorados, meu e seu, com gravidezes no meio, temos uma filha maravilhosa que nos enche de orgulho e alegria a cada dia e cá estamos até hoje. Gui, obrigada pela parceria e companheirismo, por ser meu maior exemplo de cientista e me ensinar TANTO! Agradeço a paciência diária, as infinitas revisões de absolutamente todos os meus textos, manuscritos, capítulos da tese, propostas, relatórios..., a ajuda nos campos e experimentos, seja indo no meu lugar ou cuidando da Sofia na minha ausência, por ter conseguido sobreviver aos nove longos meses longe de nós duas enquanto estivemos no Reino Unido e, por fim, por segurar as pontas em casa durante os últimos meses de escrita da tese. Enfim, poderia escrever páginas se fosse enumerar cada contribuição sua nesse trabalho. Sem dúvida, sem você, tudo isso ainda estaria no mundo das ideias.

Ah, Sofia, se você soubesse o quanto tem de você em cada uma dessas páginas. Espero que um dia seja capaz de compreender o real sentido de a mamãe ter se ausentado, seja estando em campo com os macaquinhos ou mesmo no cômodo ao lado, sem poder estar juntinho de você, brincando, por estar trabalhando nessas linhas todas. Saiba que você esteve presente em todos esses momentos nos meus pensamentos e que tudo isso é para que saiba que todas nós, mulheres, deveríamos ter a liberdade e o privilégio de poder correr atrás de nossos sonhos. Obrigada por me acompanhar nos primeiros campos, na nossa aventura além-mar, por ser minha grande companheira durante os nove meses que passamos em Swansea, e minha melhor amiga, pelos abraços para me acalmar e pelos “tá tudo bem, mamãe”, no auge da sua empatia, sensibilidade e maturidade de uma criança de três anos de idade. Isso tudo é por você! Para que possa também sonhar grande, minha pequena, e principalmente, realizar!

Mas se hoje tenho eles ao meu lado é porque existe um alicerce que suporta tudo isso, chamado família, sem o qual eu não seria nada. Meus pais, Noedy e Mary, que sempre me deram apoio incondicional para que eu pudesse correr atrás dos meus sonhos e meus maiores exemplos de amor, humildade e determinação; às minhas irmãs (e segundas mães) Cláudia e Eliane, irmãos (e segundos pais) Luciano e Carlos, e cunhados Adilson e Henrique, minhas maiores inspirações quando se trata de realizar sonhos e o/as melhores tio/as que a Sofia poderia ter; às minhas sobrinhas-irmãs, melhores amigas e companheiras da vida, Isabella, Isadora, Laura, Carol, Beatriz e Helena, e meu sobrinho-neto e afilhado Lucca, hoje o melhor companheiro da Sofia; aos meus sogros José Garbino e Lucia, por cuidarem da Sofia em tantos momentos cruciais para o desenvolvimento dessa pesquisa e por todo apoio de sempre; e aos meus avós (*in memoriam*), tio/as e primo/as (incluindo os que aqui nos olham de um lugar para o qual todos um dia iremos), nossa grande e amada família. Poderia escrever longos textos agradecendo a cada um, mas por agora expresso aqui minha enorme e eterna gratidão e amor. Se hoje sou quem eu sou e se cheguei aonde estou, é porque tenho vocês comigo sempre!

Também ganhei na loteria com o time que escolhi para me orientar ao longo desse processo. Um time de peso, cada um com sua especialidade e contribuição para que eu conseguisse chegar até aqui. Mais do que os acadêmicos que escolhi para me orientar, essas quatro pessoas se tornaram grandes amigos e conselheiros da vida:

A minha orientadora Dr.^a Laurence Culot. Ela, que antes de orientadora, já era parceira de trabalho. Acreditou nas minhas ideias e me deu todo suporte para seguir em frente, mesmo em meio a tantas tempestades que encontrei no caminho ao longo desse tempo. Lo, muito obrigada pela amizade, compreensão, paciência e por ser um exemplo de pesquisadora, a quem eu escolhi me espelhar. Quando fui atrás de um doutorado, muito além do título, buscava me desenvolver academicamente e me qualificar enquanto cientista, para melhorar a qualidade das minhas pesquisas. Não poderia ter tido uma orientadora melhor para esse longo e árduo percurso que é fazer ciência no Brasil. Aprendi e aprendo muito com você.

Meu (co)orientador e supervisor do Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE), Dr. Luca Börger, o italiano-alemão mais internacional que conheço. Ele também, além de orientador, virou um grande parceiro, que embarcou nas minhas ideias que muitas vezes soavam impossíveis, me ajudou a buscar soluções para as perguntas que eu queria responder e me deu todo o suporte necessário para chegarmos aonde chegamos com esse trabalho (e sei que ainda dá para ir longe). Luca, grazie per la tua ospitalità e amicizia, per aver risposto ai miei messaggi a qualsiasi ora del mattino, pomeriggio, notte, alba, nel tuo pazzesco fuso orario di lavoro, per aver fatto le scelte sbagliate a volte, ma soprattutto quelle giuste, nei nostri sondaggi, insegnandomi a comprendere i miei dati e a fare di tutto per spiegarmi le “model fit”. Infine, per avermi accolto così bene a Swansea e aperto le porte di SLAM – Swansea Laboratory for Animal Movement in modo che potessi svolgere le mie analisi.

Meu também (co)orientador, Dr. Ariovaldo Cruz-Neto, que mergulhou de cabeça nesse projeto e trouxe a pitada de fisiologia que meus dados ecológicos precisavam. Parceiro de boas conversas e discussões sem fim sobre nossas metodologias e resultados, e sempre que possível acompanhadas das melhores cervejas. Neto, agradeço pela paciência em me explicar conceitos fisiológicos e pela disposição em ajudar como pode ou me aconselhar, especialmente quando a água batia no pescoço; por me apresentar a água duplamente marcada e trazer a parceria com o grande John Speakman e a Universidade de Aberdeen para viabilizar nossas análises.

Por fim, Dr. Milton Cezar Ribeiro, ele que não me orientou oficialmente, mas acompanhou cada etapa desse projeto, desde sua concepção e delineamento, participou da avaliação do meu projeto, da minha qualificação e sempre aberto a me apoiar e orientar. Milzinho, me faltam palavras para expressar a admiração que tenho

por você. Obrigada por me apoiar e incentivar desde o primeiro minuto, quando tudo isso não passava de ideias ambiciosas.

Ao reingressar numa universidade pública após oito anos de formada na graduação, e com financiamento público, compreendi novamente o privilégio que é estar num centro que produz ciência de excelência, a partir de pessoas apaixonadas pelo que fazem, enfrentando todas as dificuldades do caminho, com a única finalidade fazer seu campo do conhecimento evoluir. Sim, a ciência é feita a partir de pessoas, de mentes pensantes, movidas pela curiosidade e que, juntas, inclusive, conseguem ir mais longe. Por isso, agradeço aos professores, mestres e doutores que cruzaram meu caminho durante esse tempo e despertaram e alimentaram em mim essa curiosidade. Mas ciência também é feita de cooperação e de convivência, que muitas vezes é proporcionada pelos ambientes dessas universidades. Assim, agradeço a oportunidade de ter frequentado três laboratórios ao longo do doutorado, dentro dos quais encontrei mais do que parceiros de trabalho, mas grandes amigos:

Ao Laboratório de Primatologia (LaP/UNESP), liderado pela nossa querida Lo, agradeço pelas amizades, ajuda no campo e momentos de troca de ideia sobre os nossos tão amados micos: Olivier Kaisin, Lica Fuzessy, Felipe Bufalo, Rodrigo Amaral, Anne-Sophie Silva, Debora Tomiatti, Mayara Mulato, Raissa Sepulvida, Lucas Pereira... Não poderia deixar de agradecer especialmente ao Edu Zanette, que surgiu no meio da pandemia e se tornou um grande amigo, confidente, construtor de ideias e revisor de capítulos; e às minhas queridas orientandas, Catarina Cibim e Marina Souza, que toparam embarcar nessa pesquisa e tanto me apoiaram e me ensinaram nesse processo.

Ao Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação (LEEC/UNESP), a grande comunidade do Miltinho, por estar sempre de portas abertas e me receber tão bem, para falar de ciência ou mesmo para um cafezinho no meio da tarde. Agradeço especialmente ao Thadeu Sobral-Souza, André Regolin, Milene Alves-Eigenheer, Julia Oshima, Karla Barbosa, Julia Assis e Renata Muylaert.

Ao Laboratório de Movimentação Animal de Swansea (e aqui mudo para o inglês) the Swansea Laboratory for Animal Movement (SLAM/Swansea University), under the impeccable leadership of Dr. Luca Börger, Dr. Rory Wilson and Dr. Emily Shepard. It was a great honor to attend this lab and spend time with you. Swansea has gifted me with good friendships and partnerships, which I will never forget, and I hope to meet again somewhere in this vast world: Johannes Chambon, Emma-Louise Cole,

Stephanie Januchowski, James Redcliffe, Baptiste Garde, Kiki Krishnan, Richard Gunner, Novella Franconi, Mark Holton, Manos Lempidakis, Holy English, William Kay, Mikayla van Niekerk and Erika Garcez (my Brazilian roomie for a couple of days but who became a friend for life). Thank you so much for all the patient explanations, discussions, friendship, for (literally) opening the lab door for me so many times until I had my own key, for the dinners, the help and care with Sofia, the 'Pub by the Pond' after work, the weekend trips to Gower (or somewhere else around Wales), the beers, jam sessions and sunsets on the beach! Special thanks to Mr. Kenny George, the best landlord of the world and an awesome step grandfather for Sofia during the time we were in Swansea. If I had an amazing and fruitful time in Swansea, it was entirely due to you all, guys!

Minha gratidão enorme também ao IPÊ – Instituto de Pesquisas Ecológicas, minha segunda casa, a instituição que me acolheu durante toda minha vida profissional e que ofereceu todo o apoio e condições para que esse projeto alcançasse seus voos. No começo de tudo, Claudio Valladares Padua, pioneiro nas pesquisas de campo com o mico-leão-preto e idealizador do projeto cuja continuidade e liderança me foram confiadas há dez anos. Meu grande mentor, conselheiro e amigo, responsável pelo meu ingresso e crescimento na primatologia, que acreditou e acredita no meu potencial (às vezes mais do que eu mesma) e que nunca mediu esforços para me fazer alcançar todos os meus objetivos. Nunca terei palavras para te agradecer o suficiente. Em seguida, aos meus “pais do mato”, eles, sem os quais nenhum desses micos teria sido estudado: José Wilson Alves (ou Wilsinho), André Albuquerque e Cícero José da Silva Filho (ou Cicinho, *in memoriam*), essas páginas são resultado de suas décadas de experiência acompanhando os micos na floresta. Obrigada por toda paciência e persistência em fazer essa (e outras) pesquisa(s) acontecer(em), por me ensinarem a usar um facão, a andar e (tentar) ficar em silêncio no mato, e por serem os melhores professores sobre ecologia e biologia de mico-leão-preto.

Outra pessoa que embarcou nessa pesquisa desde o começo e nunca mediu esforços para que ela acontecesse foi Daniel Felippi, nosso vet, que participou e acompanhou todas as capturas (desde as primeiras, quando ainda falhávamos miseravelmente nas coletas de dados) e agora, oficialmente veterinário do Programa de Conservação do Mico-leão-preto (PCMLP/IPÊ), segue fazendo com que os processos de captura de micos continuem dando saltos gigantescos em qualidade e

segurança. Agradeço também a todos que fizeram parte do PCMLP/IPÊ ao longo desses anos e contribuíram para a coleta desses e de outros dados, que ajudam a conhecer e conservar esses bichinhos, em especial ao Vinícius Alves, meu braço direito, à Francly Forero-Sanchez, minha melhor conselheira, e à Carol Manzano, minha grande motivadora em seguir fazendo pesquisa. À toda equipe do IPÊ Pontal do Paranapanema, por me receberem tão bem ao longo desses anos e oferecerem todo suporte local: Laury Cullen Jr., Aires Cruz, Gracinha Souza, Williana Marin, Nivaldo Campos, Haroldo Borges. Por fim, tive uma sorte imensa de ter trabalhado num ambiente que acolhe necessidades individuais e respeita escolhas pessoais, e com pessoas que além de lideranças inspiradoras são, acima de tudo, minhas melhores amigas: Simone Tenório, Paulinha Piccin, Edu Badialli, Edu Ditt, Suzana Padua, Ale Uezu, Cristi Martins, e tantas outras... Obrigada por me ensinarem e me inspirarem diariamente.

Ao “Jantar das Gatas”, por serem tão fundamentais na minha vida e me ajudarem a trilhar esse percurso de um jeito mais leve, me levantando de todos os tropeços no caminho, com uma palavra, um abraço, um jantar, ou uma resenha por videoconferência em tempos pandêmicos. Lu Haddad (“Crup”), Carol Hasegawa (“Içá”), Bia Reis (“Popô”), Gimena Aguiar (“Pipino”), Mari Mello (“Cui”), Naná Rongetta (“Filcu”), Paulinha Nakayama (“Yods”) e claro, não poderia deixar de fazer o agradecimento mais especial de todos à Mariana Nars (ou “tia Massa” pra Sofia). Amiga, como te agradecer por você ter prontamente aceitado ao convite mais inesperado e inusitado de ir passar uns tempos (Dias? Semanas? Meses!) no País de Gales e me acompanhar nessa grande aventura que foi morar num lugar desconhecido com a Sofia, para analisar uns dados doidos de uma pesquisa que você só descobriu sobre o que era quando já estava lá? Mas você topou ir e foi, sem dúvidas, a força que eu precisava para conseguir estar lá e alcançar meus objetivos, diante das circunstâncias que a vida impôs. Esse é o resultado, e você é grande parte disso.

Deixo também um enorme agradecimento às minhas amigadas de Piracicaba, Swansea e Viçosa, que tão bem me receberam nessas três cidades ao longo desses anos e que foram minha rede de apoio, tão necessária longe da família. Minha gratidão eterna às mães poderosas que cruzaram meu caminho e me deram todo o suporte nesse período: Yohana Mello, Vanessa Chiconeli, Dani Yones, Mari Colombo, Emma Cole, Ana Pelissari, Amanda Silvatti, Erica Mangaravite, Sarah Marotta, Jamila

Guerra, Mari Schaefer, Dani Sato e Fabiana Melo. Agradeço também às minhas queridas terapeutas nessas cidades, Mari Pereira, Vera Mariano e Maria Clara Rezende, que sempre quando o castelo começava a desmoronar, vinham com guindastes, betoneiras, tijolos, e colocavam todas as paredes de volta no lugar.

Aos meus amigos da vida, aos colegas da primatologia e da mastozoologia (abraço especial ao B.C.M.B.), e à Sociedade Brasileira de Primatologia, a qual tive a honra e o prazer de integrar a diretoria de 2018 a 2022. Aqui havia pensado em agradecer a agradecimentos gerais, para não correr o risco de esquecer algum nome, mas não poderia deixar de citar algumas pessoas que tiveram papel fundamental no meu percurso enquanto primatóloga: Leandro Jerusalinsky, Fabiano Melo, Leonardo Oliveira Anthony Rylands e Dominic Wormell, por me acompanharem desde os meus primeiros passos na primatologia, serem meus maiores incentivadores e fontes de inspiração, além de oferecerem todo o apoio para o meu crescimento nessa área; João Pedro Souza-Alves, por me mostrar que primatólogos devem entender também de botânica e compartilhar das minhas “filosofias” sobre os efeitos da estrutura florestal no gasto energético dos micos; Patrícia Izar e Karen Strier, por serem minhas musas inspiradoras nessa ciência onde as mulheres são vasta (sim!) maioria; Francly Forero-Sanchez, por me ensinar (muito mais do que ela imagina) a ser uma pesquisadora e gestora de projetos cada vez melhor. Agradeço também ao querido amigo, mastozoólogo e ilustrador Gustavo Libardi, pelos micos que embelezaram ainda mais as figuras dos meus capítulos. Aos demais não contemplados nominalmente, sintam-se também agradecido/as!

Desde o começo, eu sonhei grande nesse projeto e fiz o que pude para não precisar ter “plano B” (apesar de algumas mudanças e adaptações no caminho). Foram muitas pessoas envolvidas na coleta de dados em campo e no cativeiro, às quais não poderia deixar de listar e agradecer, algumas delas pela segunda vez: à equipe de campo do IPÊ ao longo desses anos: Daniel, Vinícius, André, Wilsinho, Francly, Leonardo Silva, Frederico Mazziero e mais alguns voluntários que se juntaram a essa empreitada; ao pessoal do LaP/UNESP: Marina, Catarina, Rodrigo, Olivier, Edu, Felipe, Francisco e Gabriel Sabino (nosso botânico agregado); e aos que realizaram o experimento no Centro de Primatologia do Rio de Janeiro (no meu último mês de gravidez): Gui, Luca, Neto e, em especial, Silvia Bahadian e Dr. Alcides Pissinatti, por terem aberto as portas do CPRJ para nós. Foram ao menos 22 pessoas

envolvidas na coleta desses dados, sem as quais, sem dúvida, essa pesquisa não teria acontecido da forma que aconteceu.

Mas esse projeto, de fato, só pode acontecer porque, além dessas pessoas, tivemos apoiadores e parceiros superimportantes, que garantiram que cada etapa pudesse ser implementada, mesmo com tantos imprevistos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, que me concedeu bolsa durante os primeiros 25 meses do doutorado (sendo 4 de licença maternidade) e o auxílio financeiro PROAP para a realização do experimento no CPRJ; da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), que me concedeu a bolsa no país (Processo 2017/11962-9) e a bolsa estágio de pesquisa no exterior (BEPE - Processo 2020/10617-9) durante todos os 41 meses restantes do meu doutorado, e os Auxílios via Projeto Jovem Pesquisador da Dr. Laurence Culot (Processo 2014/14739-0) e Projeto de Auxílio à Pesquisa do Dr. Ariovaldo Cruz-Neto (Processo 2014/16320-7). Agradeço também o apoio do DLW Resource Centre, do Departamento de Zoologia da University of Aberdeen (Scotland), em especial a John Speakman e equipe, que realizou as análises de água duplamente marcada; da Swansea University, com o apoio institucional durante a minha estadia no SLAM para a BEPE; e da Universidade Estadual Paulista (UNESP Rio Claro), com a oferta de toda infraestrutura e suporte institucional, em especial aos funcionários da Seção Técnica de Pós-Graduação.

Agradeço também ao IPÊ por todo o apoio e aos financiadores do Programa de Conservação do Mico-leão-preto entre 2017 e 2022, que possibilitaram a realização de grande parte das coletas de dados em campo: Disney Conservation Fund, Durrell Wildlife Conservation Trust, Whitley Fund for Nature, Idea Wild, Primate Action Fund, Margot Marsh Biodiversity Foundation/Re:Wild.

Por último, agradeço aos parceiros do projeto, cujo apoio institucional e logístico foi essencial para o desenvolvimento dessa pesquisa: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, em especial ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Primatas Brasileiros (CPB); Fundação Florestal de São Paulo (FF/SP), Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA/SP) e Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo (SIMA/SP); gestores e funcionários das Unidades de Conservação envolvidas: Parque Estadual Morro do Diabo (FF/SP), Estação Ecológica Mico-leão-preto (ICMBio), Estação Ecológica de Angatuba (IF/SP);

Centro de Primatologia do Rio de Janeiro (CPRJ/INEA) e Zoológico Municipal Quinzinho de Barros (Sorocaba/SP).

Chegar até aqui me fez ter certeza de que um doutorado vai muito além da pesquisa e do título em si. O doutorado é um processo que envolve muito mais nuances que podemos imaginar ao ingressar, nuances de uma coisa chamada vida. Então, desejo que essa pesquisa também vá muito além de seus resultados e inspire muitas mulheres pesquisadoras a correrem atrás de seus sonhos, sejam eles profissionais, acadêmicos, maternos, de vida...! Porque esse doutorado, além de tudo, me ensinou a ter planos mais flexíveis e a abraçar as circunstâncias que a vida traz. Então, para terminar, peço licença ao Quino para reproduzir uma tirinha da querida Mafalda que muito representa o que quis eu expressar nessas longas páginas de agradecimentos:



“The least I can do is speak out for those
who cannot speak for themselves.”

Jane Goodall

“Our education system teaches about linearity,
not about what to do when this linear pattern breaks,
not where to look for resilience,
not the art of recovery from disruption.”

Keisha Blair

“Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu
É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu
[...]

Também não é sobre correr contra o tempo pra ter sempre mais
Porque quando menos se espera a vida já ficou pra trás
Segura teu filho no colo
Sorria e abraça os teus pais enquanto estão aqui
Que a vida é trem-bala, parceiro
E a gente é só passageiro prestes a partir”

Ana Vilela

RESUMO

Alterações na estrutura das florestas decorrentes da degradação do habitat podem levar a alterações na movimentação de animais que dependem desses ambientes, afetando seu balanço energético e, em última análise, sua taxa de reprodução e sobrevivência. Portanto, compreender padrões de movimento e gasto energético de espécies em paisagens degradadas pode auxiliar no desenvolvimento de diretrizes para o manejo do habitat, de modo a aumentar a viabilidade de populações nesses ambientes. Escolhemos o mico-leão-preto (*Leontopithecus chrysopygus*), endêmico da Mata Atlântica de São Paulo e ameaçado devido à fragmentação, como modelo para compreender as consequências energéticas decorrentes da fragmentação do habitat em primatas arborícolas. Numa escala ampla, a) avaliamos como processos de diferentes escalas atuam na distribuição de uma espécie dependente de ambientes florestais; e numa escala local, b) caracterizamos e comparamos padrões de movimento e uso de habitat de micos-leões-pretos em diferentes fragmentos, e c) avaliamos como a estrutura florestal, os fatores abióticos e os padrões de movimento influenciam seu gasto energético. Inicialmente, utilizamos Modelos de Nicho Ecológico para prever a distribuição potencial de mico-leão-preto a partir do uso de variáveis de clima combinadas a de paisagem. Posteriormente, trabalhamos as questões de movimento e gasto energético dessa espécie, utilizando dados coletados remotamente a partir de dispositivos de GPS e acelerômetro. Validamos, através de um experimento em cativeiro, a utilização de acelerômetros para estimar o custo energético do movimento do mico-leão-preto em seu ambiente natural. Em seguida, monitoramos micos-leões selvagens para caracterizar seus padrões de movimento e estimar o gasto energético relativo a esse movimento. Nossos resultados mostram que a espécie está presente em menos de 1% de sua distribuição original, sugerindo um profundo efeito da fragmentação. Também identificamos áreas de alta adequabilidade climática e de paisagem para sua ocorrência e determinamos prioridades regionais em termos de estratégias de manejo visando sua conservação. A partir do monitoramento de quatro indivíduos durante 1575 horas e obtendo mais de 136 milhões de registros, encontramos que os micos-leões-pretos selvagens gastaram, em média, 100,5 ($\pm 8,4$) kcal por dia, enquanto os cativos gastaram 84,5 ($\pm 11,9$) kcal/dia. Os resultados do monitoramento em campo também sugeriram um efeito do tamanho do fragmento no uso e compartilhamento do espaço, e indicaram

que a distância percorrida e a direcionalidade do movimento, assim como a temperatura, umidade, duração do dia, e a estrutura e composição da floresta influenciaram o gasto energético dos micos. Encontramos uma relação negativa entre gasto energético e as variáveis estruturais (DAP, área basal e volume) e composicionais (riqueza) da floresta, corroborando a nossa hipótese de que os micos gastam menos energia em florestas de melhor qualidade. Este é o primeiro estudo a estimar taxa metabólica da espécie, e indica como a complexidade estrutural afeta seu gasto energético. Os resultados nos permitiram identificar áreas e ações prioritárias para a conservação do mico-leão-preto e subsidiar diretrizes para o manejo do habitat, visando favorecer sua movimentação pela floresta e pela paisagem fragmentada. Num contexto amplo, o estudo valida metodologias para a priorização de áreas para espécies dependentes de floresta, e o uso de tecnologias de monitoramento remoto em estudos de movimento e gasto energético, fornecendo resultados relevantes à conservação de espécies animais.

PALAVRAS-CHAVE: fragmentação, modelagem, acelerômetro, área de vida, conservação de espécies

ABSTRACT

Changes in the structure of forests resulting from habitat degradation can lead to changes in the movement of animals that depend on these environments, affecting their energy balance and, ultimately, their reproduction rate and survival. Therefore, understanding movement patterns and energy expenditure of species in degraded landscapes can provide useful information for the development of guidelines for habitat management, in order to increase populations viability in these environments. We chose the black lion tamarin (*Leontopithecus chrysopygus*), endemic to the Atlantic Forest of São Paulo and threatened due to fragmentation, as a model to understand the energetic consequences of habitat fragmentation in arboreal primates. On a broad scale, a) we evaluated how processes of different scales act in the distribution of a forest dependent species; and on a local scale, b) we characterized and compared movement patterns and habitat use of black lion tamarins in different fragments, and c) evaluated how forest structure, abiotic factors and movement patterns influence their energy expenditure. Initially, we used Ecological Niche Models to predict the potential distribution of the black lion tamarin using climate and landscape variables combined. Subsequently, we worked on the issues of movement and energy expenditure of this species, using data collected remotely from GPS and accelerometer devices. We validated, through an experiment in captivity, the use of accelerometers to estimate the energy cost of movement of the black lion tamarin in its natural environment. We then monitored wild lion tamarins to characterize their movement patterns and estimate the movement-related energy expenditure. Our results show that the species is present in less than 1% of its original distribution, suggesting a profound effect of fragmentation. We also identified areas of high climatic and landscape suitability for their occurrence and determined regional priorities in terms of management strategies aimed at their conservation. From the monitoring of four individuals for 1,575 hours and obtaining more than 136 million records, we found that wild black lion tamarins spent, on average, 100.5 (± 8.4) kcal per day, while captive ones spent 84.5 (± 11.9) kcal/day. The results of field monitoring also suggested an effect of patch size on space use and sharing, and indicated that distance traveled and directionality of movement, as well as temperature, humidity, daylength, and the forest structure and composition influenced the tamarins' energy expenditure. We found a negative relationship between energy expenditure and structural (DBH, basal area and volume) and

compositional (richness) forest variables, corroborating our hypothesis that tamarins spend less energy in better quality forests. This is the first study to estimate the species' metabolic rate, and it indicates how structural complexity affects its energy expenditure. The results allowed us to identify priority areas and actions for the conservation of the black lion tamarin and provide guidelines for habitat management, aiming to favor its movement through the forest and the fragmented landscape. In a broad context, the study validates methodologies for prioritizing areas for forest-dependent species, and the use of remote monitoring technologies in movement and energy expenditure studies, providing relevant results for the conservation of animal species.

KEYWORDS: fragmentation, niche modeling, accelerometer, home range, species conservation

SUMÁRIO

| | |
|--|------------------|
| <u>1 APRESENTAÇÃO DA TESE</u> | <u>27</u> |
| 1.1 INTRODUÇÃO GERAL | 27 |
| 1.1.1 MOVIMENTO E GASTO ENERGÉTICO | 27 |
| 1.1.2 MICO-LEÃO-PRETO | 28 |
| 1.2 OBJETIVOS E ESTRUTURA DA TESE..... | 31 |
| 1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |
| | |
| <u>2 CHAPTER I: INTEGRATING CLIMATE AND LANDSCAPE MODELS TO PRIORITIZE AREAS AND CONSERVATION STRATEGIES FOR AN ENDANGERED ARBOREAL PRIMATE</u> | <u>41</u> |
| 2.1 RESUMO | 41 |
| 2.2 ABSTRACT | 42 |
| 2.3 GRAPHICAL ABSTRACT | 43 |
| 2.4 INTRODUCTION | 44 |
| 2.5 METHODS | 45 |
| 2.5.1 STUDY AREA | 45 |
| 2.5.2 CLIMATIC AND LANDSCAPE VARIABLES | 46 |
| 2.5.3 BLACK LION TAMARIN DATA SOURCES | 47 |
| 2.5.4 GENERATING THE NICHE-BASED MODELS | 47 |
| 2.6 RESULTS | 49 |
| 2.7 DISCUSSION | 52 |
| 2.8 ACKNOWLEDGEMENTS..... | 57 |
| 2.9 AUTHORS' CONTRIBUTION | 57 |
| 2.10 REFERENCES | 58 |
| 2.11 SUPPLEMENTAL FILES..... | 61 |
| | |
| <u>3 CHAPTER II: VALIDATING DYNAMIC BODY ACCELERATION METRICS AS A MEASURE OF ENERGY EXPENDITURE IN BLACK LION TAMARINS.....</u> | <u>65</u> |
| 3.1 RESUMO | 65 |
| 3.2 ABSTRACT | 66 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 3.3 | INTRODUCTION..... | 67 |
| 3.4 | OBJECTIVES..... | 70 |
| 3.5 | METHODS..... | 70 |
| 3.5.1 | <i>EX SITU</i> EXPERIMENT WITH ACCELEROMETERS AND DLW | 70 |
| 3.5.2 | ACCELEROMETER DATA PROCESSING AND DBA ESTIMATION | 73 |
| 3.5.3 | DAILY RHYTHM PHASES: THE DISTINCTION BETWEEN DAY AND NIGHT PHASES AND ACTIVE AND INACTIVE BEHAVIOURS | 75 |
| 3.5.4 | ENERGY EXPENDITURE ESTIMATES | 78 |
| 3.6 | RESULTS..... | 79 |
| 3.6.1 | VALIDATION OF DBA METRICS | 79 |
| 3.6.2 | BEHAVIOUR-SPECIFIC ENERGY EXPENDITURE | 81 |
| 3.7 | DISCUSSION..... | 86 |
| 3.8 | ACKNOWLEDGEMENTS..... | 89 |
| 3.9 | AUTHORS' CONTRIBUTION..... | 89 |
| 3.10 | REFERENCES..... | 90 |
| 3.11 | APPENDIX..... | 97 |

4 CHAPTER III: SPACE USE AND MOVEMENT PATTERNS OF BLACK LION TAMARIN NEIGHBOURING GROUPS IN FOREST PATCHES..... 103

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.1 | RESUMO..... | 103 |
| 4.2 | ABSTRACT..... | 104 |
| 4.3 | INTRODUCTION..... | 106 |
| 4.4 | METHODS..... | 108 |
| 4.4.1 | STUDY SITE AND IN SITU MONITORING | 108 |
| 4.4.2 | DATA ANALYSES | 110 |
| 4.5 | RESULTS..... | 113 |
| 4.5.1 | HOME RANGE, SPACE USE AND MOVEMENT PATTERNS | 113 |
| 4.5.2 | EFFECT OF THE FRAGMENT EDGE | 119 |
| 4.5.3 | DAILY PATTERNS OF USE | 122 |
| 4.6 | DISCUSSION..... | 124 |
| 4.6.1 | HOW DO BLACK LION TAMARINS CHANGE THEIR SPACE USE AND MOVEMENT PATTERNS, INCLUDING HOME RANGE OVERLAP BETWEEN NEIGHBOURING GROUPS, IN FOREST PATCHES OF DIFFERENT SIZES? | 125 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 4.6.2 | DOES THE EDGE OF THE FRAGMENT AFFECT TAMARIN SPACE USE? | 128 |
| 4.6.3 | HOW DO TAMARINS EXPLORE THEIR HOME RANGE ON A DAILY BASIS? | 129 |
| 4.7 | CONCLUSION | 130 |
| 4.8 | ACKNOWLEDGEMENTS | 131 |
| 4.9 | AUTHORS' CONTRIBUTION | 132 |
| 4.10 | REFERENCES | 133 |
| 4.11 | APPENDIX | 143 |
| 4.12 | SUPPLEMENTARY MATERIAL | 151 |
| 4.12.1 | DATA PROCESSING AND CRITERIA FOR DATA EXCLUSION/INCLUSION | 151 |
| 4.12.2 | HOME RANGE ESTIMATION BASED ON THREE METHODS | 155 |

5 CHAPTER IV: MOVEMENT-RELATED ENERGY EXPENDITURE OF BLACK LION TAMARINS IN FRAGMENTED HABITATS..... 161

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.1 | RESUMO | 161 |
| 5.2 | ABSTRACT | 162 |
| 5.3 | INTRODUCTION | 164 |
| 5.4 | OBJECTIVES | 165 |
| 5.4.1 | GENERAL | 165 |
| 5.4.2 | SPECIFIC | 165 |
| 5.5 | METHODS | 166 |
| 5.5.1 | STUDY SITE AND FIELD DATA COLLECTION | 166 |
| 5.5.2 | HABITAT CHARACTERIZATION: PHYSICAL AND BIOTIC FACTORS | 170 |
| 5.5.3 | MOVEMENT PATTERNS AND ENERGY EXPENDITURE | 171 |
| 5.5.4 | MODELS ON THE EFFECT OF HABITAT CHARACTERISTICS AND MOVEMENT PATTERNS ON BLACK LION TAMARIN ENERGY EXPENDITURE | 174 |
| 5.6 | RESULTS | 177 |
| 5.6.1 | HABITAT CHARACTERIZATION: PHYSICAL AND BIOTIC FACTORS | 177 |
| 5.6.2 | MOVEMENT PATTERNS AND ENERGY EXPENDITURE | 181 |
| 5.5.3 | MODELS ON THE EFFECTS OF HABITAT CHARACTERISTICS AND MOVEMENT PATTERNS ON THE BLACK LION TAMARINS' ENERGY EXPENDITURE | 190 |
| 5.6 | DISCUSSION | 195 |
| 5.7 | ACKNOWLEDGEMENTS | 197 |
| 5.8 | AUTHORS' CONTRIBUTION | 198 |

| | | |
|-------------|--|-------------------|
| 5.9 | REFERENCES..... | 199 |
| 5.10 | APPENDICES..... | 205 |
| 6 | <u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u> | <u>219</u> |
| 7 | <u>RECOMENDAÇÕES PARA O MANEJO DO HÁBITAT E CONSERVAÇÃO DO MICO-LEÃO-PRETO.....</u> | <u>220</u> |
| 8 | <u>O IMPACTO DA PANDEMIA DE COVID-19 E DE OUTRAS INTERCORRÊNCIAS DE CAMPO NESSA PESQUISA</u> | <u>230</u> |
| 9 | <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u> | <u>232</u> |
| 10 | <u>ANEXOS</u> | <u>233</u> |
| 10.1 | ANEXO I: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO HÁBITAT PARA MICOS-LEÕES-PRETOS (LEONTOPITHECUS CHRYSOPYGUS) EM FRAGMENTOS FLORESTAIS DE DISTRIBUIÇÃO ATUAL E POTENCIAL..... | 233 |
| 10.1.1 | METODOLOGIA | 233 |
| 10.1.2 | RESULTADOS | 239 |
| 10.2 | ANEXO II: CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS | 248 |

1 APRESENTAÇÃO DA TESE

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1.1 MOVIMENTO E GASTO ENERGÉTICO

Alterações na estrutura das florestas, decorrentes da fragmentação e da degradação do hábitat, podem afetar, numa escala local, a disponibilidade de recursos para a fauna, ocasionando mudanças comportamentais e ecológicas nos animais, tais como nos seus padrões de movimentação e orçamento temporal de atividades (Niebuhr et al., 2015). Entre tais alterações, mudanças na estrutura tridimensional da floresta são particularmente relevantes para animais arborícolas, como os primatas neotropicais (Davies & Asner, 2014; Gouveia et al., 2014). Elas podem moldar a conectividade e a permeabilidade do hábitat arbóreo, levando a mudanças na forma com que esses animais interagem com a estrutura da vegetação, por exemplo, ao se locomover (Davies et al., 2017).

Essencialmente, comportamentos podem ser definidos a partir de padrões de movimento, tais como posturas e movimentos corporais, combinados em um determinado intervalo de tempo (Wilson et al., 2018). Os animais dividem seu tempo em estratégias comportamentais, que têm custos energéticos específicos (Wilson et al., 2006). Portanto, mudanças ambientais, que alterem a estrutura do hábitat e, por consequência, a movimentação desses animais, podem afetar o orçamento temporal de atividades e o equilíbrio energético dos indivíduos. Em última análise, o balanço temporal (e energético) entre as diferentes atividades de sua rotina definirá sua probabilidade de sobreviver e se reproduzir com sucesso, podendo afetar, portanto, a viabilidade de uma população (Jeanniard-du-Dot et al., 2017).

Outro efeito potencial da fragmentação é a limitação do movimento animal entre fragmentos de hábitat, isolando populações, cessando o fluxo gênico e, conseqüentemente, resultando em extinções locais (Bolger et al., 2001; Knapp, 2013). Além disso, a restrição de movimento impacta a coleta de recursos e, portanto, a sobrevivência das populações em paisagens alteradas (de Knegt et al., 2007). A resposta positiva ou negativa de um organismo a alterações na paisagem é espécie-específica, uma vez que está relacionada a sua capacidade de se mover pelo

ambiente alterado, através de uma matriz mais ou menos permeável (Jepsen et al., 2005; Taylor et al., 1993; Uezu et al., 2005).

Portanto, estudos de movimento se fazem necessários para esclarecer respostas comportamentais e consequências energéticas decorrentes de processos de alteração do hábitat, como a fragmentação e a degradação de florestas (Doherty et al., 2021; Wang et al., 2017). Com o uso de colares de GPS e *dataloggers*, é possível monitorar remotamente padrões de movimento e uso do hábitat de forma tridimensional, estimar o gasto energético, e prever reações dos indivíduos a alterações no ambiente, sejam em paisagens naturais ou antropogênicas (Tomkiewicz et al., 2010). Com isso, podemos entender se a variação no gasto de energia explica diferenças de movimento e orçamento temporal em manchas de hábitat com diferentes estruturas florestais.

1.1.2 MICO-LEÃO-PRETO

O mico-leão-preto (*Leontopithecus chrysopygus*, Primates, Callitrichidae) é um pequeno primata endêmico da Mata Atlântica, com distribuição restrita ao estado de São Paulo (Coimbra-Filho & Mittermeier, 1973). A principal ameaça a essa espécie, dependente de ambientes florestais, é a extensa redução e fragmentação do hábitat, uma vez que apenas 6,4% da cobertura florestal original de floresta estacional semidecídua ainda permanece dentro de sua área de distribuição no interior paulista. Sua ocorrência hoje está restrita a pouco mais de 20 fragmentos florestais, todos localizados na bacia hidrográfica do Rio Paranapanema (Figura 1; Garbino et al., 2016). Sua população é estimada em 1.600 indivíduos, sendo que 80% deles vive em um único remanescente de floresta, o Parque Estadual do Morro do Diabo, no Pontal do Paranapanema, região mais ocidental do Estado de São Paulo. Trata-se da única população genética e demograficamente viável. As demais populações são pequenas e isoladas, sofrendo pressões externas devido a pastagens e plantações invadindo fragmentos, à presença de rodovias e expansão urbana, sem ignorar a emergência de doenças que podem acometer primatas e os efeitos, ainda desconhecidos, das mudanças climáticas sobre essas populações. As Análises de Viabilidade Populacional e de Habitat (PHVA) mostram que as pequenas populações podem se extinguir em menos de 70 anos, caso não sejam realizadas ações para sua conservação (Forero-Sánchez, 2020). Tal cenário faz com que a espécie esteja listada

estadual, nacional e globalmente como “Em Perigo” (respectivamente, São Paulo, 2014; Brasil, 2022; Rezende et al., 2020).

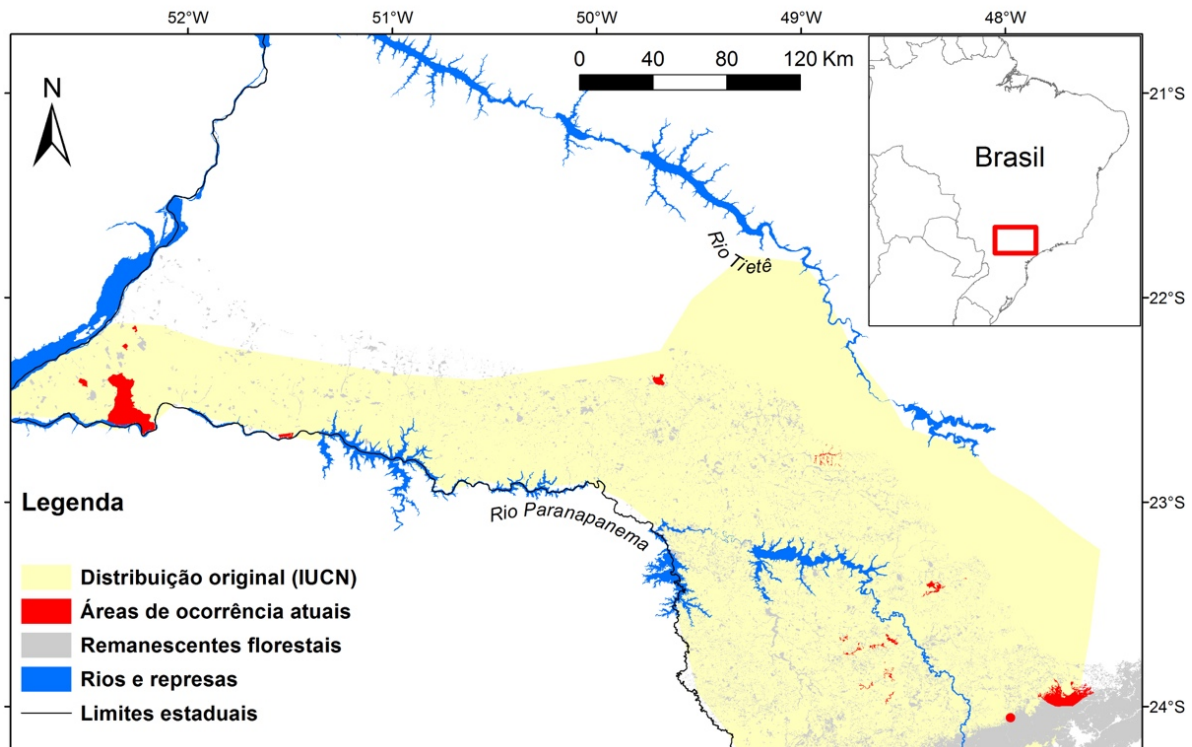


Figura 1. Mapa das áreas de ocorrência de mico-leão-preto (*Leontopithecus chrysopygus*). Fonte: elaboração própria.

Micos-leões-pretos vivem em grupos familiares, cujo tamanho pode variar de 2 a 8 indivíduos, sendo geralmente um casal reprodutor e seus descendentes (Figura 2), até que estes atinjam maturidade sexual e dispersem para a formação de novos grupos (Coimbra-Filho & Mittermeier, 1973; Medici, 2001). O grupo se locomove de forma coesa ao longo de seu período de atividade diurna, estabelecendo áreas de vida, cujo tamanho de 40 a 400 hectares pode variar de acordo com a época do ano, disponibilidade de recursos, ou tamanho do fragmento (Albernaz, 1997; Mamede-Costa, 1997; Medici, 2001; F. D. C. Passos, 1997; Valladares-Padua, 1993). Dentre os recursos requeridos pela espécie ao longo do ano estão suas fontes de alimento e seus locais de dormida. Seu nicho alimentar é frugívoro-insetívoro, com dieta composta principalmente por frutas, exsudatos vegetais, invertebrados e pequenos vertebrados, como anfíbios, lagartos, aves, e outros animais, esses últimos encontrados em micro-habitats do estrato arbóreo (Coimbra-Filho & Mittermeier, 1973;

Garbino et al., 2022; Keuroghlian & Passos, 2001). Como dormitório, utilizam principalmente ocos de árvores e ocasionalmente emaranhados de lianas, realizando uma alternância de locais ao longo dos dias, possivelmente como estratégia para proteção contra predadores durante o período noturno, quando entram em período de descanso (da Silva, 2019). Portanto, a sobrevivência de micos-leões-pretos em uma área depende da presença de árvores que ofereçam esses recursos, reforçando a dependência vital desses animais por ambientes florestais relativamente maduros. Além disso, a quantidade e qualidade desses recursos afeta a capacidade-suporte de um determinado remanescente florestal e, conseqüentemente, o número de indivíduos que podem usar/viver nessa área (Janson & Chapman, 2009).



Figura 2. Adulto carregando um filhote de mico-leão-preto. Foto: Rachel Hughes (Durrell Wildlife Conservation Trust).

Essa espécie arborícola, portanto, utiliza seu hábitat de forma tridimensional, movendo-se pelos diferentes estratos na busca de recursos, percorrendo relativamente longas distâncias – entre 1 e 3 km (Medici, 2001; Passos, 1997) e

cobrindo grandes áreas de floresta durante seu período de atividade (Valladares-Padua, 1993). Essas características nos permitem avaliar a influência da estrutura florestal de seu hábitat, atualmente degradado e alterado, em seus padrões de movimento, na escala de fragmento. Ao compreender como o mico-leão-preto usa seu hábitat e como a estrutura florestal influencia seus movimentos e gasto energético, poderemos construir modelos mais preditivos de movimentação da espécie em habitats alterados e paisagens fragmentadas. Esses modelos servirão de evidência para o desenvolvimento de diretrizes mais robustas para a restauração do hábitat e da conectividade, que contemplem as características da floresta que a espécie necessita, aumentando a viabilidade e sobrevivência das populações em paisagens alteradas.

1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albernaz, A. L. K. M. (1997). Home Range Size and Habitat Use in the Black Lion Tamarin (*Leontopithecus chrysopygus*). *International Journal of Primatology*, 18(6), 877.
- Bolger, D. T., Scott, T. A., & Rotenberry, J. T. (2001). Use of corridor-like landscape structures by bird and small mammal species. *Biological Conservation*, 102(2), 213–224. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00028-3)
- Portaria MMA Nº 148, de 07/06/2022, 74 (2022). <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>
- Coimbra-Filho, A. F., & Mittermeier, R. A. (1973). Distribution and ecology of the genus *Leontopithecus* lesson, 1840 in Brazil. *Primates*, 14(1), 47–66. <https://doi.org/10.1007/BF01730515>
- da Silva, L. H. (2019). *Seleção de dormitórios pelos micos-leões-pretos: uma comparação entre floresta contínua e fragmento*. Universidade Estadual Paulista.
- Davies, A. B., Ancrenaz, M., Oram, F., & Asner, G. P. (2017). Canopy structure drives orangutan habitat selection in disturbed Bornean forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(31), 8307–8312. <https://doi.org/10.1073/pnas.1706780114>
- Davies, A. B., & Asner, G. P. (2014). Advances in animal ecology from 3D-LiDAR ecosystem mapping. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(12), 681–691. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.005>
- de Knegt, H. J., Hengeveld, G. M., van Langevelde, F., de Boer, W. F., & Kirkman, K. P. (2007). Patch density determines movement patterns and foraging efficiency of large herbivores. *Behavioral Ecology*, 18(6), 1065–1072. <https://doi.org/10.1093/beheco/arm080>
- Doherty, T. S., Hays, G. C., & Driscoll, D. A. (2021). Human disturbance causes widespread disruption of animal movement. *Nature Ecology & Evolution*, 5(4), 513–519. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01380-1>
- Forero-Sánchez, F. (2020). *Análises de Viabilidade Populacional no Planejamento para a Conservação do Mico-Leão-Preto*. Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ.
- Garbino, G.S.T., Rezende, G. C., & Valladares-Padua, C. (2016). Pelage Variation and Distribution of the Black Lion Tamarin, *Leontopithecus chrysopygus*. *Folia Primatologica*, 87(4). <https://doi.org/10.1159/000450998>
- Garbino, Guilherme S. T., Rezende, G. C., Antônio, D. C., Bufalo, F., Amaral, R. G., Silva, A.-

- S. de A. e, Kaisin, O., & Culot, L. (2022). Seasonal variation in frog predation by black lion tamarins (*Leontopithecus chrysopygus*, Primates). *Journal of Natural History*, 56(5–8), 449–461. <https://doi.org/10.1080/00222933.2022.2078242>
- Gouveia, S. F., Villalobos, F., Dobrovolski, R., Beltrão-Mendes, R., & Ferrari, S. F. (2014). Forest structure drives global diversity of primates. *Journal of Animal Ecology*, 83(6), 1523–1530. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12241>
- Janson, C. H., & Chapman, C. A. (2009). Resources and primate community structure. In J. G. Fleagle, C. H. Janson, & K. E. Reed (Eds.), *Primate Communities* (pp. 237–267). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511542381.015>
- Jeanniard-du-Dot, T., Trites, A. W., Arnould, J. P. Y., Speakman, J. R., & Guinet, C. (2017). Activity-specific metabolic rates for diving, transiting, and resting at sea can be estimated from time-activity budgets in free-ranging marine mammals. *Ecology and Evolution*, 7(9), 2969–2976. <https://doi.org/10.1002/ece3.2546>
- Jepsen, J. U., Baveco, J. M., Topping, C. J., Verboom, J., & Vos, C. C. (2005). Evaluating the effect of corridors and landscape heterogeneity on dispersal probability: a comparison of three spatially explicit modelling approaches. *Ecological Modelling*, 181(4), 445–459. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.11.019>
- Keuroghlian, A., & Passos, F. C. (2001). Prey foraging behavior, seasonality and time-budgets in black lion tamarins, *Leontopithecus chrysopygus* (Mikan 1823) (Mammalia, Callitrichidae). *Brazilian Journal of Biology*, 61(3), 455–459. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842001000300015>
- Knapp, L. A. (2013). Molecular Genetic Tools for Evaluating the Consequences of Habitat Fragmentation. In L. Marsh & C. Chapman (Eds.), *Primates in Fragments* (pp. 389–398). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8839-2_25
- Mamede-Costa, A. C. (1997). *Ecologia de um grupo de micos-leões-pretos (Leontopithecus chrysopygus, Mikan, 1823) na mata ciliar da Fazenda Rio Claro, Lençóis Paulista, SP* [Universidade Estadual Paulista, Rio Claro]. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842001000300015&lng=en&tlng=en
- Medici, E. P. (2001). *Translocação e Manejo Metapopulacional de Mico-Leão-Preto, Leontopithecus chrysopygus Mikan 1823 (Callitrichidae - Primates)*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Niebuhr, B. B. S., Wosniack, M. E., Santos, M. C., Raposo, E. P., Viswanathan, G. M., da Luz, M. G. E., & Pie, M. R. (2015). Survival in patchy landscapes: the interplay between

- dispersal, habitat loss and fragmentation. *Scientific Reports*, 5(1), 11898. <https://doi.org/10.1038/srep11898>
- Passos, F. D. C. (1997). *Padrão de atividades, dieta e uso do espaço em um grupo de mico-leão-preto (Leontopithecus chrysopygus) na estação ecológica de Caetetus, SP*. Universidade Federal de São Carlos.
- Pontzer, H., Raichlen, D. A., Gordon, A. D., Schroepfer-Walker, K. K., Hare, B., O'Neill, M. C., Muldoon, K. M., Dunsworth, H. M., Wood, B. M., Isler, K., Burkart, J., Irwin, M., Shumaker, R. W., Lonsdorf, E. V., & Ross, S. R. (2014). Primate energy expenditure and life history. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(4), 1433–1437. <https://doi.org/10.1073/pnas.1316940111>
- Rezende, G. C., Knogge, C., Passos, F., Ludwig, G., Oliveira, L. de C., Jerusalinsky, L., & Mittermeier, R. A. (2020). *Leontopithecus chrysopygus*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2020*, e.T11505A1. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T11505A17935400.en>
- Rezende, G., Sobral-Souza, T., & Culot, L. (2020). Integrating climate and landscape models to prioritize areas and conservation strategies for an endangered arboreal primate. *American Journal of Primatology*, September, 1–9. <https://doi.org/10.1002/ajp.23202>
- Santos, J. P., Sobral-Souza, T., Brown, K. S., Vancine, M. H., Ribeiro, M. C., & Freitas, A. V. L. (2020). Effects of landscape modification on species richness patterns of fruit-feeding butterflies in Brazilian Atlantic Forest. *Diversity and Distributions*, 26(2), 196–208. <https://doi.org/10.1111/ddi.13007>
- Decreto nº 60133 de 07/02/2014, 25 (2014).
- Speakman, J. R. (1997). *Doubly labelled water: theory and practice* (First Edit). Springer Science & Business Media.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity Is a Vital Element of Landscape Structure. *Oikos*, 68(3), 571–573. <https://www.jstor.org/stable/3544927>
- Tomkiewicz, S. M., Fuller, M. R., Kie, J. G., & Bates, K. K. (2010). Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1550), 2163–2176. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0090>
- 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(4), 507–519. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.01.001>

- Valladares-Padua, C. B. (1993). *The ecology, behavior and conservation of the black lion tamarins* (*Leontopithecus chrysopygus* Mikan, 1823). University of Florida.
- Wang, Y., Smith, J. A., & Wilmers, C. C. (2017). Residential development alters behavior, movement, and energetics in a top carnivore. *PlosOne*, *12*(10), e0184687. <https://doi.org/10.5061/dryad.08tb4>
- Wilson, R. P., Holton, M. D., di Virgilio, A., Williams, H., Shepard, E. L. C., Lambertucci, S., Quintana, F., Sala, J. E., Balaji, B., Lee, E. S., Srivastava, M., Scantlebury, D. M., & Duarte, C. M. (2018). Give the machine a hand: A Boolean time-based decision-tree template for rapidly finding animal behaviours in multisensor data. *Methods in Ecology and Evolution*, *9*(11), 2206–2215. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13069>
- Wilson, R. P., White, C. R., Quintana, F., Halsey, L. G., Liebsch, N., Martin, G. R., & Butler, P. J. (2006). Moving towards acceleration for estimates of activity-specific metabolic rate in free-living animals: the case of the cormorant. *Journal of Animal Ecology*, *75*(5), 1081–1090. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01127.x>
- Wilson, R., Shepard, E., & Liebsch, N. (2008). Prying into the intimate details of animal lives: use of a daily diary on animals. *Endangered Species Research*, *4*(1–2), 123–137. <https://doi.org/10.3354/esr00064>

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a sua dependência por ambientes florestais, primatas arborícolas como o mico-leão-preto são mais propensos a terem sua capacidade de movimentação afetada por processos de fragmentação e degradação do hábitat, afetando a viabilidade de suas populações e a sobrevivência da espécie como um todo (Lees & Peres, 2009). Nesse sentido, buscamos compreender como a espécie é afetada, em diferentes escalas, por tais processos, a fim de oferecer evidências científicas que possam subsidiar estratégias para sua conservação.

Nossos modelos de nicho ecológico indicaram que a modificação da paisagem histórica e atual teve um impacto extremamente negativo na distribuição do mico-leão-preto, mostrando que a espécie está presente em menos de 1% de sua área de ocorrência original. Também identificamos duas regiões prioritárias para o desenvolvimento de estratégias de conservação focadas no manejo de populações e do hábitat: a região do Alto Paranapanema, no sudeste de São Paulo, e a região do Pontal do Paranapanema, no extremo oeste do estado.

Partindo para uma escala menor, obtivemos a primeira estimativa da taxa metabólica de campo para micos-leões-pretos e validamos a utilização de acelerômetros para estudos dessa finalidade com esse primata. Ao monitorar os animais em campo com dispositivos de GPS e acelerômetro, também validamos o uso desses equipamentos de monitoramento remoto para estudos de movimento, uso de espaço e gasto energético de primatas de pequeno porte.

Nossos resultados sugeriram um efeito do tamanho do fragmento no uso, exploração diária de recursos e compartilhamento do espaço, e ressaltaram que alguns padrões de movimento podem estar associados a características intrínsecas à espécie, não apresentando variação de uma área para a outra. Ao mesmo tempo, o tamanho do fragmento não se mostrou como um bom indicador de taxas de gasto energético. Nesse sentido, os fatores físicos (temperatura, umidade e duração do dia) e bióticos (estrutura e composição da floresta), bem como a direcionalidade do movimento tiveram influência nas estimativas de gasto energético dos micos. Encontramos uma relação negativa entre gasto energético e as variáveis estruturais (DAP, área basal e volume) e composicionais (riqueza de espécies) da floresta,

corroborando a nossa hipótese de que os micos gastam menos energia em florestas de melhor qualidade.

Concluimos, então, com esse trabalho que, para conservar o mico-leão-preto em habitats fragmentados, é necessário trabalhar para melhorar a qualidade da floresta, tanto em termos estruturais quanto composicionais, mas também considerar o tamanho dos fragmentos como fator chave para a manutenção de populações no longo prazo.