



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-graduação em Biologia Animal

**Fisiologia, ecologia e conservação de macacos-prego-amarelos
(*Sapajus libidinosus*) no Parque Nacional de Brasília**

Samara de Albuquerque Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Torbjørn Haugaasen

Brasília – DF

2024

Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-graduação em Biologia Animal

**Fisiologia, ecologia e conservação de macacos-prego-amarelos
(*Sapajus libidinosus*) no Parque Nacional de Brasília**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade de Brasília como parte dos requisitos para a obtenção de título de Doutora em Biologia Animal.

Orientador: Prof. Dr. Torbjørn Haugaasen

Brasília, 2024

*Ao meu marido, Philippe,
aos meus pais Carlindo e Marlise,
e às minhas irmãs Ana e Susi*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Dr. Torbjørn Haugaasen pela orientação, apoio, conselhos, paciência, compreensão e pela amizade durante todos esses anos. Sou extremamente grata por ter me acolhido em um momento delicado e ter sido fonte fundamental de apoio em diversas ocasiões para que este trabalho pudesse ser concluído.

Agradeço à professora Dra. Maria Clotilde H. Tavares pelos valiosos ensinamentos e pelo apoio inicial. Tenho um carinho muito especial pela professora e serei eternamente grata por tudo que fez por mim. Peço desculpas por qualquer inconveniente pois sem seu incentivo e orientação, eu não teria chegado aonde cheguei.

À Universidade de Brasília, ao Instituto de Ciências Biológicas, ao Departamento de Ciências Fisiológicas, ao Programa de Pós-graduação em Biologia Animal e ao Laboratório de Neurociência e Comportamento pelo apoio institucional indispensável à realização deste trabalho. À professora Dra. Daniela Mara de Oliveira pelo apoio ímpar e pelos conselhos sábios para que este doutorado pudesse ser finalizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Ministério da Educação (MEC) pela concessão de bolsa de estudo e pelo financiamento que apoiou esse trabalho. Também agradeço à Fundação de Apoio à Pesquisa da Universidade de Brasília pelo financiamento concedido e apoio financeiro para realização desse estudo. Agradeço ao International Primatological Society (IPS) pelo apoio financeiro imprescindível onde foi possível a realização do estudo de Educação Ambiental no Parque Nacional de Brasília. À Norwegian University of Life Sciences (NMBU) pelo financiamento das análises laboratoriais. Ao Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) instituído pelo IBAMA pela autorização concedida para atividades com finalidade científica no Parque Nacional de Brasília e ao Comitê de Ética de Uso Animal (CEUA) da Universidade de Brasília pela aprovação deste projeto de pesquisa.

Agradeço à equipe do Parque Nacional de Brasília, em especial à Cibele Lima Barreto, analista ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) por oferecer ajuda sempre que eu precisei, por acreditar no potencial dessa pesquisa e por todas as oportunidades de desenvolvimento profissional. Aos funcionários do parque que sempre me apoiaram e me ajudaram na identificação dos macacos, Ivanildo, Vinícius, Antoniel, Jean, Laís e Cristiano, meu muito obrigada. Jamais esquecerei das risadas e conversas extrovertidas que tivemos.

À Carolina Lisboa pela ajuda na identificação dos indivíduos de macacos no Parque Nacional de Brasília. Sem o seu auxílio e generosidade em se deslocar até o parque para me mostrar as diferenças físicas de cada um, eu não teria conseguido identificá-los.

À Dra. Risolândia Bezerra de Melo pela amizade e orientação na condução dos estudos com as sementes. Sou muito grata pelos seus sábios conselhos e por compartilhar momentos memoráveis.

Agradeço ao professor Dr. Maurício Rossato do Departamento de Fitopatologia por abrir as portas da Estação Experimental do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília para a realização do estudo sobre a dispersão de sementes. Sem o seu apoio, nada disso teria sido possível.

À Dra. Priscila Viau do Pesquisas Hormonais pelos ensinamentos e recomendações a respeito das análises de cortisol que sempre foi muito atenciosa e generosa, sem medir esforços para me auxiliar no que fosse preciso.

Um agradecimento especial à Jéssica Mendes de Sousa pela parceria nesses seis anos. Não tenho palavras para agradecer todo o seu apoio, paciência, companheirismo e, principalmente, a sua amizade ao longo de todos esses anos. Juntas, conquistamos tantas realizações e enfrentamos muitas barreiras. Construímos um projeto lindo com muito esforço e trabalho e, tenho certeza de que ainda vamos longe. Você foi um presente que a UnB me deu.

Às minhas colegas de laboratório, Fayda, Ana, Gyslaine e Waleska pelos ensinamentos, troca de experiências e risadas no nosso clube do filme. Vocês me mostraram que a colaboração acadêmica pode ser divertida e funcionar sem hierarquias de poder.

Aos amigos que a UnB me deu, Lia Nahomi, Mariana de Carvalho, Nathalie Citeli, Paulo Victor dos Santos, muito obrigada pelas risadas, produções científicas e, principalmente, pela amizade sincera de vocês.

Sou muito grata às minhas estagiárias, Kelly Motta Lima, Nayara Santos, Beatriz Silva, Jamila Khalifa, Milena Maria, Paulliny Tort, por me acompanharem e aceitarem se aventurar comigo nas coletas de campo. Sem vocês, o trabalho teria sido bem mais difícil.

À Jessika Gabriel de Albuquerque pela troca de experiências, conversas de longas horas, desabafos e apoio extraordinário nos últimos anos. Você se tornou uma grande amiga.

Agradeço ao Dr. João Pedro Souza-Alves da Universidade Federal de Pernambuco pelos conselhos e auxílio nas análises estatísticas. Meu muito obrigada pelos doze anos de amizade. Você é uma inspiração como pessoa e profissional.

À Raiane Guidi pela ajuda ímpar na criação da hierarquia social dos animais. Você é uma pessoa incrível e admiro muito seu trabalho e dedicação.

Às professoras Dra. Regina Macedo e Dra. Renata Gonçalves por aceitarem participar da minha banca de qualificação.

Aos Drs. Douglas Maciel e Bruno Melati pelo trabalho exímio de análises estatísticas que foram fundamentais para a elaboração do meu trabalho.

À minha eterna amiga, Nárjara Veras Grossman, pelos anos de amizade sincera e verdadeira e por toda ajuda inigualável.

Às minhas amigas do coração Mariana Perez e Júlia Fonseca pelos anos de amizade e incentivo e apoio incondicional. Vocês são muito especiais e minhas irmãs para sempre.

Agradeço aos macacos, Rambo, Rihanna, Mãozinha, Richard, Romã, Cotoca, Spike, Caju, Goku e Abu pelas horas que ficamos juntos e por permitir que eu os observasse.

A todos os primatólogos e primatólogas que me inspiram diariamente a seguir lutando pela conservação dos primatas.

Ao meu amado marido, Philippe Manoel Rodrigues Bem, por todo o apoio incondicional e por ter segurado a minha mão nos momentos que mais precisei. Agradeço por sempre acreditar em mim e me fazer acreditar que era possível, mesmo quando eu mesma não acreditava. Você sempre esteve ao meu lado, então obrigada pelo companheirismo de sempre.

Aos meus pais, Carlindo e Marlise, que são os pilares da minha vida e me ensinaram sobre a importância de ter uma família sólida e unida. Sempre estiveram ao meu lado, me apoiando nas decisões e enfrentamentos da vida. Às minhas irmãs, Susiane e Ana Nilce, pelo incentivo e parceria de sempre.

A todos que, de alguma maneira, estiveram envolvidos na realização deste trabalho.

Sumário

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	15
LISTA DE FIGURAS.....	17
INTRODUÇÃO GERAL.....	19
Espécie de estudo.....	24
Área de estudo.....	26
Objetivos da tese.....	28
Estudo-Piloto.....	29
Sujeitos.....	29
Considerações Éticas.....	31
Formatação da Tese.....	31
Referências.....	31
ESTUDO 1 Agonistic behavior affects fecal cortisol levels in bearded capuchin monkeys (<i>Sapajus libidinosus</i>) in Brasilia National Park.....	36
Abstract.....	38
Introduction.....	39
Methods.....	41
Results.....	50
Discussion.....	54
Conclusion.....	56
Conflict of Interest.....	56
Data Availability Statement.....	56
Acknowledgements.....	56
Ethics Statement.....	57
References.....	57
ESTUDO 2 Diet and seed dispersal of bearded capuchin monkeys (<i>Sapajus libidinosus</i>) in Brailia National Park.....	66
Abstract.....	68
1. Introduction.....	69
2. Methods.....	71
3. Results.....	75

4. Discussion.....	83
Acknowledgements.....	86
Conflict of Interest.....	86
References.....	86
ESTUDO 3 Ação educativa sobre os macacos-prego-amarelos (<i>Sapajus libidinosus</i>) no Parque Nacional de Brasília	96
Resumo	97
Introdução	98
Métodos	100
Resultados e Discussão.....	104
Conclusão.....	108
Referências.....	109
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
NOTA DE ESCLARECIMENTO.....	113
ANEXOS	114

RESUMO

Os primatas são um componente integral da fauna de muitas florestas tropicais e são importantes para o funcionamento dos ecossistemas, por exemplo, por meio da dispersão de sementes. No entanto, o seu bem-estar e função no ecossistema podem ser afetados pela proximidade ou pelas interações com os seres humanos. Informações sobre fisiologia, comportamento alimentar e conscientização entre a população local são, portanto, importantes para fins de conservação. Para o trabalho apresentado nesta tese, habituei um grupo de macacos-prego (*Sapajus libidinosus*) que estão em contato regular com humanos no Parque Nacional de Brasília (PNB) e tive como objetivos: (1) caracterizar os níveis de estresse dos macacos-prego por meio da análise de cortisol fecal; (2) caracterizar a composição da dieta do macaco-prego, quantificar o número de sementes ingeridas e analisar o tempo e o sucesso de germinação entre sementes ingeridas e sementes frescas de árvores locais; e (3) conscientizar os visitantes sobre os macacos-prego por meio de atividades educativas. Os dados foram coletados por meio de observações focais e *ad libitum* de cada indivíduo do grupo ($N = 9$) durante um período de 8 meses. Coletei 125 amostras fecais para análise de cortisol e 139 amostras para testes de dieta e germinação de sementes. As atividades educativas foram realizadas durante 2 meses. Entre elas, um vídeo educativo, distribuição de materiais educativos, jogos interativos e trilhas ecológicas que consistiam em caminhadas guiadas duas vezes ao dia, nas quais eram destacadas características do bioma Cerrado e dos macacos-prego. Os primatas passavam a maior parte do tempo em comportamentos de alimentação (32,8%) e forrageamento (32,63%). Os níveis de cortisol foram afetados pelo número de comportamentos agonísticos em que os indivíduos estavam envolvidos. Os alimentos antropogênicos oferecidos/roubados pelos visitantes representaram 20% de sua dieta e podem ter afetado o número de interações agonísticas dentro do grupo. Esses alimentos são ricos em açúcar e calorias o que os torna muito apreciados pelos primatas, estimulando assim a competição entre os indivíduos. O alimento mais consumido pelos primatas foram os frutos (55%) e a dieta era composta por 33 espécies vegetais de 21 famílias diferentes. Nos testes de germinação, as sementes plantadas com fezes germinaram mais rapidamente, sugerindo que passar pelo intestino do primata e ser depositado com material fecal auxilia a germinação das sementes. A emergência mais rápida das plântulas pode ter um efeito positivo na sobrevivência e no crescimento das plantas. Os resultados também mostraram que os macacos-prego são importantes dispersores de sementes de tamanho médio e grande que podem ser inacessíveis aos frugívoros menores e, portanto, desempenham um papel importante na manutenção e conservação do Cerrado no PNB. Registramos 396 visualizações do vídeo

educativo, 1273 jogos foram utilizados pelas crianças e, estima-se que 183 pessoas participaram das caminhadas guiadas. Ao enfatizar o importante papel que os primatas desempenham na natureza e ao destacar os potenciais perigos das interações entre humanos e primatas, podem ser evitadas informações imprecisas e promovida uma coexistência mais harmoniosa. No entanto, por ora, a dieta e a saúde do grupo são afetadas pelos alimentos fornecidos pelos visitantes do parque, sugerindo que é altamente recomendável restringir a alimentação no parque ou fornecer uma área de refeições fechada para os visitantes. A implementação de tais medidas preventivas e ações educativas parece ser crucial para evitar a perda da função ecológica desta espécie e para conservar a biodiversidade dentro do parque.

Palavras-chave: cortisol fecal, dispersão de sementes, educação ambiental, Parque Nacional de Brasília, *Sapajus libidinosus*.

ABSTRACT

Primates are an integral faunal component of many tropical forests and are important for ecosystem functioning, for example through seed dispersal. However, their well-being and function in the ecosystem may be affected by the proximity of, or interactions with, humans. Information on physiology, feeding behavior and awareness among local people are therefore important for conservation purposes. For the work presented in this thesis, I habituated a group of bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) that are in regular contact with humans in Brasilia National Park (BNP) and aimed to: (1) characterize capuchin stress levels through the analysis of fecal cortisol; (2) characterize capuchin diet composition, quantify the number of seeds ingested and examine germination time and success between ingested seeds and fresh seeds from local trees; and (3) raise awareness among visitors regarding capuchin monkeys through educational activities. Data were collected via focal and *ad libitum* observations of each group individual ($N = 9$) during an 8-month period. I collected 125 fecal samples for cortisol analysis and 139 samples for diet and seed germination trials. Educational activities were carried out for 2 months. These included an educational video, distribution of educational materials, interactive games and ecological trails that consisted of guided walks twice a day, during which characteristics of the Cerrado biome and capuchin monkeys were highlighted. Primates spent most of their time in feeding (32.8%) and foraging (32.63%) behaviors. Cortisol levels were affected by the number of agonistic behaviors in which individuals were involved. Anthropogenic foods offered/stolen by visitors made up 20% of their diet and may have affected the number of agonistic interactions within the group. These foods are rich in sugar and high in calories which makes them highly appreciated by primates, thus encouraging competition between individuals. The food item most consumed by primates was fruits (55%) and the diet consisted of 33 plant species from 21 different families. Seeds planted with feces in the germination trials germinated faster, suggesting that passing through the primate gut and being deposited with fecal material improves seed germination. The faster emergence of seedlings may have a positive effect for plant survival and growth. Results also showed that bearded capuchins are important dispersers of medium and large seeds that may be inaccessible to smaller frugivores and they therefore play an important role in the maintenance and conservation of the Cerrado in BNP. We recorded 396 views for the educational video and 1273 games were used by the children. An estimated 183 people participated on the guided walks. By emphasizing the important role primates play in nature and highlighting the potential dangers of interactions between humans and primates, inaccurate information can be avoided

and a more harmonious coexistence promoted. However, for now, diet and group health are affected by food provisioned by park visitors, suggesting that restricting food in the park or providing an enclosed dining area for visitors is highly recommended. The implementation of such preventive measures and educational actions appears to be crucial to avoid losing the ecological function of this species and conserve biodiversity within the park.

Keywords: Brasilia National Park, environmental education, fecal cortisol, *Sapajus libidinosus*, seed dispersal.

LISTA DE ABREVIATURAS

- a.m. – *ante meridiem* (before midday)
- APA – American Psychology Association
- BNP – Brasilia National Park
- CEUA – Comitê de Ética de Uso Animal
- CFS – Departamento de Ciências Fisiológicas
- cm – centimeters (centímetros)
- COVID – Corona virus disease
- df – dry feces
- DS – David’s Score
- EIA – Enzimeimmunoassay
- GCs – Glucocorticoids (glicocorticóides)
- GLMM – Generalized Linear Mixed Model
- GPS – Global Positioning System
- H₂SO₄ – sulfuric acid (ácido sulfúrico)
- ha – hectares
- HHA – Hipotálamo-hipófise-adrenal
- HPA – Hypothalamic-pituitary-adrenal
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- i.e. - id est (that is - isto é)
- IPS – International Primatological Society
- IUCN – União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais
- kg – kilograms (quilogramas)
- km² - square kilometer (quilômetro quadrado)
- mm – millimeters (milímetros)
- ml – milliliters (mililitros)
- N* – global sample size
- ng/g – nanogram per gram
- nm – nanometer
- pg/g – picograms per gram
- pg/mL – picograms per milliliter
- p.m. – *post meridiem* (after midday)

PNB – Parque Nacional de Brasília

RIA – Radioimmunoassay

SLM – Simple linear regression

SD – Standard deviation

SDB – Self-directed behavior

SISBIO – Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade

UnB – Universidade de Brasília

μ l – microliter (microlitro)

μ g/mL – microgram per milliliter

$^{\circ}$ C – degrees Celsius (grau Celsius)

% - percentage (porcentagem)

~ - approximately (aproximadamente)

< - less than (menor que)

> - greater than (maior que)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição do grupo de *S. libidinosus* no Parque Nacional de Brasília.

Estudo 1

Table 1. Composition of the bearded capuchin monkey study group in Brasilia National Park.

Table 2. Behavioral sampling effort (in hours and minutes) and the total number of fecal samples collected for each individual bearded capuchin monkey in the study group in Brasília National Park.

Table 3. Dominance hierarchy with David's scores (DS) of the bearded capuchin monkeys studied in the Brasilia National Park.

Table 4. Self-directed and affiliative behaviors among the bearded capuchin study group in Brasilia National Park. 'Groom' in affiliative behaviors corresponds to the sum of received and given grooming bouts.

Table S1. Ethogram of non-social behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Table S2. Ethogram of self-directed behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Table S3. Ethogram of affiliative behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Table S4. Ethogram of submissive behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Table S5. Ethogram of dominance behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Table S6. 'Focal animal' spread sheet used for behavioral recordings collection.

Table S7. Cortisol levels (ng/g) from all fecal samples for each individual. The values in orange color refers to the mean cortisol levels of each individual.

Estudo 2

Table 1. Plant families and species observed in the diet of bearded capuchin monkeys in Brasilia National Park and the plant part(s) consumed.

Table 2. Mean size (mm) and weight (g) (\pm standard deviation, SD) of the seeds collected from trees and found in the fecal samples of bearded capuchins.

Table 3. Temporal pattern of seed germination of 10 plant species consumed by *Sapajus libidinosus*.

Estudo 3

Tabela 1. Número de visitantes presentes no Parque Nacional de Brasília em 2023 de acordo com as datas em que aconteceram a ação educativa.

Tabela 2. Esforço amostral das atividades direcionadas para as crianças participantes da ação educativa no Parque Nacional de Brasília nos finais de semana dos meses de agosto e setembro de 2023.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localizações geográficas de todos os biomas brasileiros destacados por cores. O bioma Cerrado está representado pela cor verde clara. Fonte: IBGE, 2017.

Figura 2. Distribuição geográfica de macaco-prego-amarelo (*Sapajus libidinosus*). Fonte: ICMBIO, 2017.

Figura 3. Localização do Parque Nacional de Brasília situado no noroeste de Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Figura 4. Parque urbano e Unidade de Conservação localmente conhecido como “Água Mineral”. (a) Piscina Pedreira localizada no Parque Nacional de Brasília; (b) Vegetação de mata de galeria pantanosa das áreas de amostragem do grupo de macacos-prego-amarelos observados no PNB. Fotos: Samara de A. Teixeira.

Figura 5. Indivíduos adultos de *Sapajus libidinosus* (macaco-prego-amarelo) a. Macho adulto e alfa do grupo de macacos-prego-amarelos observados; b. Fêmea adulta e alfa do grupo de macacos-prego-amarelos observados no Parque Nacional de Brasília. Fotos: Samara de A. Teixeira.

Estudo 1

Figure 1. Fecal samples used for hormone extraction. (a) Fecal samples in a Liotop freeze-drying device; (b) Fecal samples before starting the lyophilization process.

Figure 2. Fecal extract samples being diluted in Assay Buffer (1/10) after the dilution test.

Figure 3: Standard curve for parallelism verification obtained in the EIA. The Y axis represents the percentage of absorbance obtained from the spectrophotometer for well B0. The X axis is the value of hormone concentrations.

Figure 4. Activity budget of the bearded capuchin monkey study group in Brasilia National Park, between the months of November 2019 and March 2020.

Figure 5. Mean fecal cortisol (ng/g df) of each *S. libidinosus* individual in the study group from Brasilia National Park.

Figure 6. Fecal cortisol levels (ng/g) according to the number of agonistic behaviors experienced by individuals. Each black dot represents an individual.

Figure 7. Sociogram of the bearded capuchin monkey study group in Brasilia National Park, showing the number of agonistic behaviors performed/received by individuals and to/from whom they are received/given. The thickness of the line represents the weight of the

relationship between two nodes (individuals). The direction of the arrow indicates the direction in which the agonistic behavior was performed.

Estudo 2

Figure 1. Map of Brazil with the location of the Cerrado biome (light grey area) and the Federal District. Brasília National Park (black polygon) is located in the north-west corner of the Federal District.

Figure S1. Left - *Pedreira* pool located at Brasília National Park, Brasília, Brazil; right - Vegetation of swampy gallery forest in the *S. libidinosus* sampling areas in the BNP. Photos: Samara de A. Teixeira.

Figure S2. Left - Greenhouse at the Biology Experimental Station at the University of Brasília, Brasília, Brazil; right - Stand in the greenhouse with the identified seed samples. Photos: Samara de A. Teixeira.

Estudo 3

Figura 1. Participantes da ação educativa no Parque Nacional de Brasília. (a) Coordenadoras adjuntas, Jéssica Mendes (à esquerda) e Samara Teixeira (à direita), do projeto de extensão da Universidade de Brasília, Primatas do Cerrado; (b) Grupo de voluntários do ICMBio.

Figura 2. Atividades presenciais no Parque Nacional de Brasília. (a) Exposição dos materiais educativos utilizados durante a ação educativa presencial; (b) Crianças em jogos interativos durante a ação presencial. Fotos: Jéssica Mendes.

Figura 3. Vista do Parque Nacional de Brasília mostra (a) Trilha da Capivara delimitada pela linha laranja, onde foram realizadas trilhas guiadas. A figura da bandeira representa o início e o fim da trilha; (b) Trilha da Capivara com mata de galeria pantanosa. Foto: Samara de A. Teixeira.

INTRODUÇÃO GERAL

O bioma Cerrado possui a mais biodiversa savana do mundo, ocupando cerca de 24% do território brasileiro, o que representa cerca de 2.000.000 km² e é o segundo maior bioma do Brasil, seguido da Amazônia. O Cerrado faz fronteira com quase todos os demais biomas do Brasil (IBGE, 2017), perfazendo uma área que vai desde o oeste do Piauí até o Mato Grosso do Sul, abrangendo algumas porções do estado de São Paulo (Figura 1). O clima da região possui duas estações bem definidas com verões chuvosos (outubro a abril) e invernos secos (maio a setembro). A precipitação anual média é de 1500 mm, podendo variar de 750 a 2000 mm (Eiten, 1972).

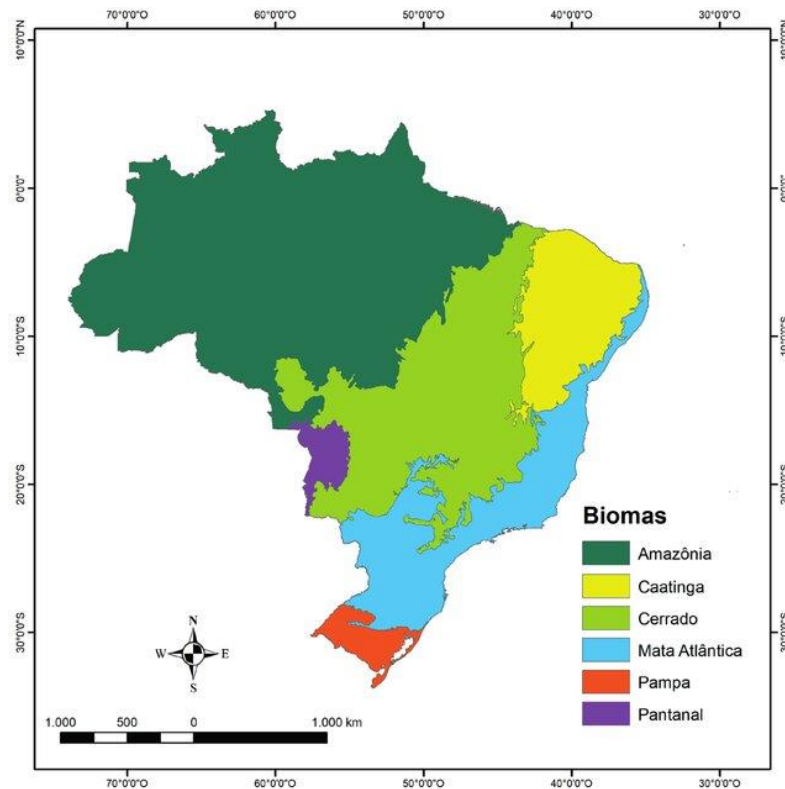


Figura 1. Localizações geográficas de todos os biomas brasileiros destacados por cores. O bioma Cerrado está representado pela cor verde clara. Fonte: IBGE, 2017.

O bioma constitui diversos mosaicos de formações vegetais com características distintas e únicas. Atualmente, são conhecidas onze fitofisionomias presentes no bioma, sendo quatro de formações florestais. As formações savânicas ocupam cerca de 72% da área total e 28% é representado por áreas florestais ou áreas de transição entre savanas-florestas (Silva & Bates, 2002). Embora o bioma seja constituído em sua grande maioria de formações savânicas e

campestres, aproximadamente 50 a 80% dos mamíferos dependem dos ambientes florestais para sobreviver (Aguilar *et al.*, 2004; Silva, 1995). O Cerrado também abrange três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, contribuindo com 43% das águas superficiais do Brasil fora da Amazônia (Strassburg *et al.*, 2017).

Ao longo dos anos, o bioma vem sofrendo alterações como resultado de expansões agrícolas e pronunciadas mudanças climáticas, e estima-se que mais da metade de sua área original tenha se convertido em áreas de lavoura, pastagem, entre outros. Apesar da importância fundamental para a conservação das espécies, o Cerrado já perdeu cerca de 88 milhões de ha (46%) de sua área nativa de cobertura vegetal, e apenas 19,8% permanecem preservados. Caso o ritmo acelerado de desmatamento se mantenha, o bioma poderá ser totalmente convertido para finalidades antrópicas até 2030 (Machado *et al.*, 2004; Strassburg *et al.*, 2017). Além disso, as áreas governamentais protegidas cobrem apenas 7,5% do bioma e somente 20% das terras privadas são obrigatoriamente destinadas para a conservação. Como resultado, a vegetação natural remanescente fica sujeita à conversão agrícola (Soares-Filho *et al.*, 2014). Com a crescente população humana, um correspondente aumento da demanda de alimentos, abrigo e combustível, destruição do habitat, e o aumento da concorrência para os recursos naturais, a saúde e o bem-estar das populações de animais silvestres está cada vez mais em risco de doenças e ameaças (Boinski *et al.*, 1999).

Considerado um *hotspot* mundial, o Cerrado possui áreas com alto grau de endemismo de espécies vegetais e animais e está bastante ameaçado resultante de mais de $\frac{3}{4}$ de vegetação nativa alterada (Myers *et al.*, 2000). A riqueza de espécies de fauna é bastante expressiva com aproximadamente 856 espécies de aves (Silva & Santos, 2005), 177 de répteis (Aguilar *et al.*, 2004), e 251 de mamíferos (Paglia *et al.*, 2012), nos quais 15 são primatas (Hirsch *et al.*, 2002). Primatas são animais predominantemente arborícolas e dependem estritamente das florestas para se reproduzir, se alimentar, se locomover, e/ou como corredores ecológicos entre duas áreas florestais. Apesar da riqueza de espécies vegetais do Cerrado, as formações vegetais são mais baixas e a diversidade de habitats é menor em comparação a outros biomas (e.g. Amazônia e Mata Atlântica).

Com isso, populações de primatas precisam competir mais intensamente para garantir o seu território e por recursos alimentares (Lazaro-Perea, 2001; Decanini & Macedo, 2008), fazendo com que esses animais desenvolvam adaptações para a sua sobrevivência. Algumas dessas adaptações são a plasticidade e a adaptabilidade que algumas espécies de primatas possuem, como os macacos-prego (*Sapajus* sp.) (Rodrigues, 1992). Essas adaptações podem

custar alto para uma população de primatas, encontrando estressores de várias fontes, e conflitos podem se manifestar de forma mais frequente dentro de um grupo. Casos fatais de agressividade já foram relatados em várias espécies de primatas, incluindo os macacos-prego (Rangel *et al.*, 2013). Com isso, a perda de habitat pode, potencialmente, exacerbar esses efeitos uma vez que os padrões naturais do ambiente não podem ser controlados. Para isso, buscamos melhor entender na tentativa de mitigar esses efeitos e dados científicos são necessários para mensurar o impacto que a invasão humana está produzindo na vida selvagem.

As respostas biológicas de um animal aos estressores podem ser direcionados através de um ou mais dos quatro canais, são eles, comportamental, autonômico, neuroendócrino e imunológico. Nem todos os indivíduos respondem da mesma maneira (ou pelo mesmo canal) para o mesmo estímulo e estímulos diferentes podem provocar respostas diferentes pelo mesmo indivíduo (Moberg, 2000). A resposta ao estresse em animais funciona através do metabolismo de glicocorticóides e é regulada pelo eixo hipotálamo-hipófise-adrenal (HHA) (Möstl & Palme, 2002). Os glicocorticóides fecais, em particular, podem ser um teste biométrico extremamente útil, uma vez que a coleta de amostras não é invasiva para indivíduos e, além disso, representam um importante avanço para o estudo da endocrinologia dos animais (Ziegler & Wittwer, 2005). Por esse motivo, muitos pesquisadores e conservacionistas começaram a usar os glicocorticóides fecais como meio para medir o estresse em várias espécies animais (Keay *et al.*, 2006).

Os glicocorticóides são "hormônios do estresse" liberados na corrente sanguínea em resposta à ativação do eixo HHA. Isto significa que a função imune do hospedeiro pode ser influenciada pelo estresse quando o eixo HHA é ativado. Essa ativação eleva os níveis de glicocorticóides (GCs) na corrente sanguínea (Goymann *et al.*, 1999; Setchell *et al.*, 2010). Esses hormônios têm a função de mobilizar energia e nitrogênio do tecido, aumentar o tônus cardiovascular e estão envolvidos na regulação do sistema imunológico. Além disso, os glicocorticóides inibem uma variedade de processos anabolizantes dispendiosos como digestão, armazenamento de energia, crescimento e reprodução (Goymann *et al.*, 1999; Setchell *et al.*, 2010). As elevações de glicocorticóides a curto prazo levam a processos adaptativos comportamentais e fisiológicos (Wingfield *et al.*, 1998), mas sua elevação crônica pode levar à falha reprodutiva, ao aumento da suscetibilidade a doenças e comprometer a função metabólica, cardiovascular e imune do indivíduo (Setchell *et al.*, 2010; Archie *et al.*, 2012). O estresse também pode diminuir a resistência à infecção e expor o indivíduo a quaisquer infecções latentes e imunologicamente controladas (Sapolsky, 2002).

Homeostase é a estabilidade dos sistemas fisiológicos que mantêm a vida. Os sistemas fisiológicos incluem pH, níveis de glicose e cortisol, temperatura corporal, entre outros, e são essenciais para a vida e, portanto, precisam ser mantidos equilibrados e estabilizados para o bom funcionamento do organismo (McEwan & Wingfield, 2003). Para que a homeostase seja mantida, o organismo precisa responder a mudanças no ambiente e/ou estágios da vida com alostase, o qual, segundo McEwan & Wingfield (2003) significa “manter a estabilidade através das mudanças”. Os glicocorticóides, assim como outros hormônios (como citocinas e catecolaminas), são mediadores primários da alostase. Alostase, portanto, distingue-se entre os sistemas que são essenciais para a vida (homeostase) e aqueles que mantêm esses sistemas em equilíbrio (alostase). Para exemplificar, as perturbações ambientais e sociais podem levar a um aumento nos custos de manutenção da homeostase, ou seja, aumentar a carga alostática. A carga alostática é a quantidade de energia metabólica necessária para que determinado mecanismo fisiológico mantenha seu equilíbrio (Keay *et al.*, 2006).

Os primatas são animais extremamente sociais e a maioria formam grupos portanto, dificilmente sobreviveriam sozinhos. Embora existam muitos benefícios para a vida em grupo, como apoio social e cooperação, a vida grupal pode ser uma enorme fonte de estresse sob a forma de conflitos sociais e competição. Viver em grupo com vários indivíduos da mesma espécie, cujas necessidades ecológicas e reprodutivas são semelhantes, pode ter consequências competitivas claras. Isso pode levar ao aumento da agressão, estresse e ansiedade (Ellis *et al.*, 2011). A complexa variedade de fatores ambientais, como mudanças imprevisíveis no clima alterando a disponibilidade de recursos alimentares, podem ocasionar comportamentos agonísticos entre indivíduos que se interrelacionam. No entanto, as interações sociopositivas, como a catação, também podem aliviar o estresse e servir para redução da tensão (Schino *et al.*, 1988; Ellis *et al.*, 2011). Os fatores fisiológicos e ecológicos determinam o tipo de associação que cada indivíduo dentro de um grupo social pretende adotar. As estratégias anti-predadores, escolha por parceiros reprodutores e acesso a alimentos podem influenciar negativamente ou positivamente nos comportamentos intragrupos (Auricchio, 2017). A definição clássica de estresse por Selye (1950) é "a soma de todas as respostas fisiológicas pelas quais um animal tenta manter ou restabelecer o metabolismo normal diante da força física ou química".

A fisiologia do estresse em primatas é de extrema importância para entender sua endocrinologia comportamental e buscar a promoção do bem-estar de animais. Estudos realizados com animais silvestres permitem investigar os estressores e seus estímulos sociais e/ou ambientais (Mendonça-Furtado, 2012). As diferenças individuais na resposta ao estresse

podem refletir diferenças no status de dominância entre os animais sociais (Abbott *et al.*, 2003), como ocorre para várias espécies de primatas. Em algumas espécies (e.g. *Saimiri* sp.; *Papio* sp.; *Macaca* sp.), os subordinados apresentam respostas ao estresse cronicamente hiperativo (avaliada por hipersecreção de glicocorticóides ou catecolaminas, maior pressão arterial e maior incidência de patologias relacionadas ao estresse). Os níveis mais elevados de cortisol (tipo de glicocorticóide) em subordinados foram associados a sociedades nas quais as interações comportamentais provavelmente não implicariam em parentes mais próximos. Parentes próximos de primatas não-humanos são particularmente propensos a fornecer suporte de coalizão, diminuindo assim, a taxa em que os estressores sociais são gerados. Além disso, indivíduos mais próximos são meios prontamente disponíveis para os cuidados sociais. Em contrapartida, Keay *et al.* (2006) relatam que indivíduos dominantes tendem a ter os hormônios de estresse mais elevados, uma vez que seus postos demandam responsabilidade e atenção para adquirir e manter o status mais elevado no grupo. É relativamente mais estressante adquirir e manter o status de dominância do que ser subordinado, por isso, a carga alostática é maior em dominantes do que em subordinados. Apesar disso, é preciso entender a principal fonte que eleva esses estressores. Diversos fatores podem modificar os níveis de cortisol incluindo diferenças na identidade das espécies, genética, temperamento individual, condição reprodutiva, idade, saúde física, ambiente social, estação, clima e, o próprio status social do indivíduo dentro do grupo (Moberg, 2000).

Além de ser uma ferramenta fundamental para a verificação de estressores fisiológicos, a coleta de fezes na natureza permite avaliar uma variedade de informações incluindo as espécies vegetais em sua dieta e a função ecológica dos primatas na dispersão de sementes ingeridas. Esses animais desempenham papéis críticos na manutenção da integridade dos ecossistemas terrestres e estão entre os mais importantes dispersores de sementes nos habitats que ocupam (Arroyo-Rodriguez *et al.*, 2017). A dispersão de sementes através da frugivoria dos primatas constitui uma interação dinâmica entre plantas e animais que possuem importantes consequências positivas para ambos os grupos de organismos: as plantas disseminam suas sementes, enquanto os animais obtêm alimentos. Essas consequências, por sua vez, têm muitas implicações ecológicas e evolutivas devido à sua relevância para a aptidão animal e vegetal (Jordano, 2014). Com isso, pesquisas de dispersão de sementes com primatas exercem um papel importante em projetos conservacionistas voltados à restauração das interações planta-animal.

Mas para que essas interações ocorrem de forma eficaz, é necessário conservar as espécies de primatas para que cumpram seu papel ecológico e sucedam na manutenção dos

ecossistemas. Os habitats desses animais vêm sendo degradados diariamente em função, principalmente, da expansão agrícola e erosão dos solos (Klink & Machado, 2005). À vista disso, os primatas são pouco tolerantes à destruição das florestas em razão de seus hábitos predominantemente arborícolas e, por consequência, estão entre os mamíferos brasileiros mais ameaçados. Por isso, a criação de unidades de conservação que abrigam espécies de primatas ameaçados faz-se crucial para a sobrevivência desses animais (Chiarello *et al.*, 2008). Um exemplo disso é o Parque Nacional de Brasília, popularmente conhecido como “Água Mineral”, uma Unidade de Conservação de Proteção Integral e um parque urbano que abriga várias populações de macacos-prego-amarelos (*Sapajus libidinosus*) e diversas outras espécies de animais ameaçados de extinção (ICMBIO, 2015). Uma maneira preponderante de conservar essa espécie, recentemente listada como “Quase ameaçada” pela União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN) em 2015, é por meio da educação ambiental. Com o apoio das comunidades locais e sensibilização das pessoas, ações educativas e conservacionistas têm grande poder e importância para a conservação ambiental (Chiarello *et al.*, 2008). Afinal, preservamos aquilo que conhecemos e “só amamos aquilo que conhecemos”, frase dita por Santo Agostinho.

Uma ação conservacionista exemplar que mostra a eficácia e valia de iniciativas como essa é a preservação do mico-leão-dourado (*Leontopithecus rosalia*). Por meio de programas de manejo, reintrodução de espécimes de micos, e educação ambiental da comunidade local, foi possível reverter a situação crítica que a espécie enfrentava na década de 60 (Kierulff *et al.*, 2012). Deve-se salientar que ações educativas são apenas uma das várias estratégias que podem ser abordadas para preservar uma espécie, mas que não devem ser subestimadas e esquecidas. Unindo esforços conservacionistas com planejamentos multidisciplinares, é possível proteger e preservar efetivamente uma espécie (Savage & Guillen, 2012).

Espécie de estudo

Assim como outras espécies do gênero, os macacos-prego-amarelos (*Sapajus libidinosus*) possuem hábitos alimentares generalistas e apresentam ampla flexibilidade comportamental e ecológica para forragear o próprio alimento. Dentre os primatas Neotropicais, os macacos-prego possuem características únicas por possuírem boa capacidade de memória, capacidade manipulativa e aptidão cognitiva eminente (Tavares & Tomaz, 2002).

O uso de ferramentas é bastante evidente e pode ser observado em todo gênero para o acesso a fontes alimentares abstrusas, uma estratégia incomum entre os primatas Neotropicais

(Fragaszy *et al.*, 2004). Macacos-prego-amarelos são considerados forrageadores oportunistas, uma vez que elaboram defesas assertivas para alcançar alimentos de difícil acesso como colmeias e ninhos de vespas e, ainda, utilizam pedras para quebrar sementes e batem frutos contra os troncos para abri-los (Falótico *et al.*, 2018). Deste modo, há uma diminuição na competição com outros primatas (inter- e intragrupos) resultante da diversidade de padrões de forrageamento e plasticidade alimentar da espécie. Além disso, em épocas de escassez de frutos, a alta flexibilidade adaptativa a distintos ambientes lhes permite explorar, de maneira inovadora, diferentes recursos alimentares (Cardoso, 2008), o que permite com que esses animais se ajustem melhor às variações ambientais e/ou sazonais. Essas variações, no entanto, podem reduzir significativamente a disponibilidade de alimentos cujas consequências podem desencadear um estresse nos animais.

A espécie de macaco-prego-amarelo *Sapajus libidinosus* é endêmica ao Brasil e ocorre em diversos estados desde o Piauí até São Paulo, com a sua distribuição abrangendo o bioma Cerrado e partes da Caatinga. A espécie possui uma extensão de ocorrência superior a 20.000 km² em todo território brasileiro conforme representado na Figura 2 (ICMBIO, 2017).

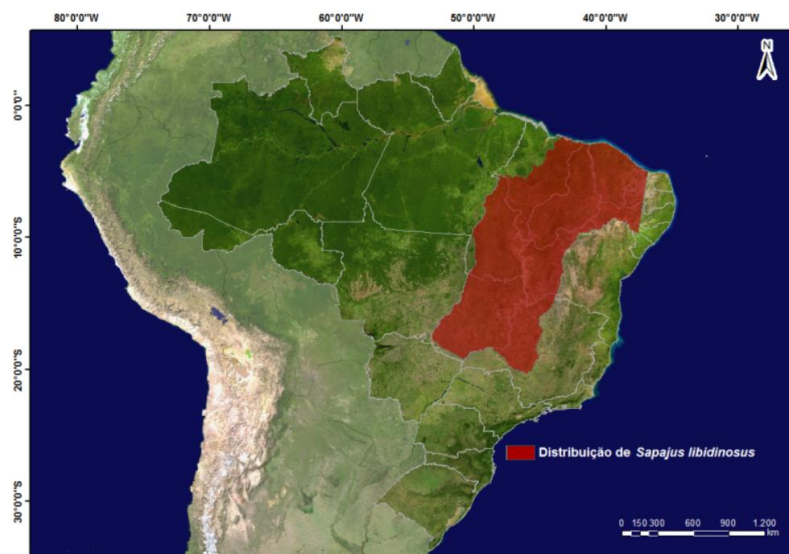


Figura 2. Distribuição geográfica de macaco-prego-amarelo (*Sapajus libidinosus*). Fonte: ICMBIO, 2017.

Sapajus libidinosus vivem em grupos sociais cujos tamanhos variam entre 6 e 20 indivíduos (Freese & Oppenheimer, 1981). Eles possuem uma complexa sociedade com diversas formas de comunicação social como expressões faciais, alterações na postura e vocalizações variadas. No grupo, sempre há um macho-alfa, o qual é facilmente identificado

por ser mais agressivo e vigilante do que os demais indivíduos e por possuir um corpo mais robusto e topete vultoso (Fragaszy *et al.*, 2004). As fêmeas estão em maior proporção em quantidade do que os machos, e geralmente são relacionadas umas às outras. Os indivíduos adultos podem pesar em média 2,9 kg e o comprimento do corpo pode medir aproximadamente 41,5 cm e cauda, 43,5 cm. A região superior da cabeça apresenta dois tufo de cor negra e seu corpo possui coloração amarelada com membros de cor escura, tendendo ao preto (dos Reis *et al.*, 2015).

Como ocorre para várias outras espécies de primatas, a composição alimentar dos *Sapajus* sp. varia de acordo com a sazonalidade e a disponibilidade de recursos alimentares (Mikich & Liebsch, 2014). Predominantemente, os macacos-prego têm preferência por frutos e insetos, porém, a sua dieta pode ser composta por ovos de aves, seiva, folhas, bulbos, e pequenos vertebrados (Mikich & Silva, 2001; Ludwig *et al.*, 2005).

Área de estudo

Os estudos desta tese foram realizados no Parque Nacional de Brasília (PNB) (15° 38' 28" S, 48° 1' 15" O) no qual é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral e um parque urbano e possui aproximadamente 42.389,01 hectares (Figura 3). O parque tem como objetivo contribuir para o equilíbrio das condições climáticas, preservar os ecossistemas naturais e evitar a erosão dos solos no Distrito Federal. O PNB protege os rios fornecendo água potável a todas as regiões do Distrito Federal, além de abrigar a barragem de Santa Maria a qual é responsável por fornecer 29% do abastecimento do Distrito Federal (ICMBIO, 2017).

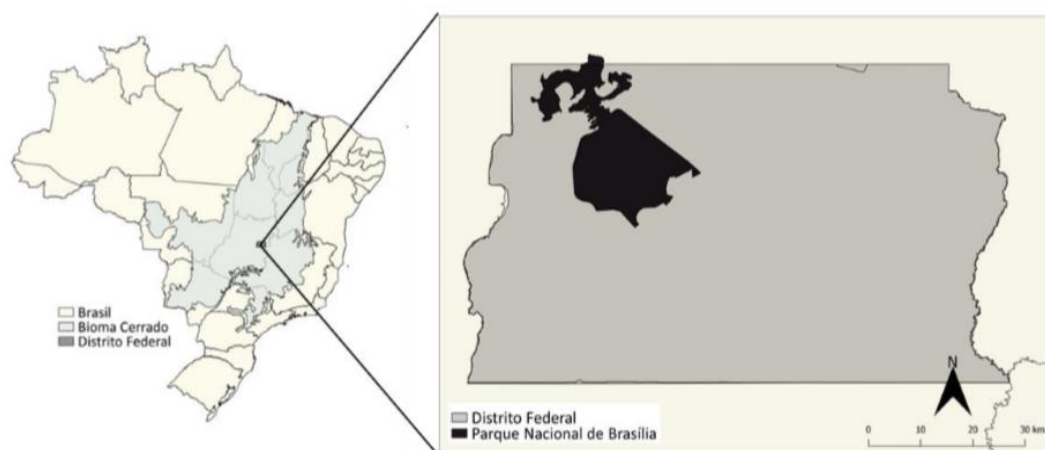


Figura 3. Localização do Parque Nacional de Brasília situado no noroeste de Brasília, Distrito Federal, Brasil.

O PNB faz limite com as Áreas de Proteção Ambiental do Descoberto, da Cafuringa e com a Floresta Nacional tornando-se um importante corredor ecológico para as espécies da região (ICMBIO, 2017). O parque inclui todas as fitofisionomias do bioma Cerrado onde há uma grande diversidade de formações vegetais, abrigando assim, uma variedade de fauna e flora. Os principais estratos de vegetação são: matas de galeria com estrato arbóreo; campos limpo e sujo com estrato herbáceo arbustivo; e campo cerrado e cerrado *sensu stricto* com estrato arborescente (Bispo *et al.*, 2010). Possui, também, um clima sazonal bem definido com invernos secos (abril a agosto), e verões chuvosos (setembro a março). A fauna do local é bastante diversificada e abundante podendo ser encontradas espécies ameaçadas de extinção e raras, tais como: tatu-canastra (*Priodontes maximus*), jaguatirica (*Leopardus pardalis*), tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e lobo-guará (*Chrysocyon brachyurus*) (ICMBIO, 2017).

Apenas 5% do PNB está aberto para visitação pública onde contém duas piscinas de águas naturais (Pedreira e Areal) que funcionam como atrativos para a população local, além de que os macacos observados para este estudo utilizam as áreas em torno das piscinas como parte de sua área de vida.

Existem diversos grupos nativos de *Sapajus libidinosus* no parque, porém, nesta tese foi estudado somente o grupo localizado próximo às matas de galeria pantanosas circunjacentes à piscina Pedreira (Figura 4).



Figura 4. Parque urbano e Unidade de Conservação localmente conhecido como “Água Mineral”. (a) Piscina Pedreira localizada no Parque Nacional de Brasília; (b) Vegetação de mata de galeria pantanosa das áreas de amostragem do grupo de macacos-prego-amarelos observados no PNB. Fotos: Samara de A. Teixeira.

Objetivos da tese

Objetivo geral

Avaliar as fezes de macacos-prego-amarelo (*Sapajus libidinosus*) por meio de análises fisiológicas e ecológicas e promover ações educativas no Parque Nacional de Brasília.

Objetivos específicos

1. Caracterizar a fisiologia do estresse por meio da análise de cortisol fecal em um grupo de macacos-prego-amarelo no Parque Nacional de Brasília.
 - a. descrever as atividades não sociais do grupo de *S. libidinosus* e verificar se o turno de observação comportamental e o gênero do animal influenciam os níveis de cortisol;
 - b. identificar possíveis correlações entre os comportamentos auto direcionados, afiliativos e agonísticos dos indivíduos com o nível de cortisol fecal;
 - c. explorar possíveis correlações entre os níveis hormonais e a posição hierárquica dos indivíduos.
2. Caracterizar a dieta e a dispersão de sementes dos macacos-prego no Parque Nacional de Brasília.
 - a. descrever a dieta dos macacos-prego no PNB por meio de observações diretas;
 - b. quantificar e identificar as sementes presentes nas fezes dos macacos-prego no PNB;
 - c. comparar o tempo e o sucesso de germinação entre as sementes presentes nas fezes e sementes das árvores locais.
3. Conscientizar os visitantes sobre os macacos-prego por meio de ações educativas no Parque Nacional de Brasília.
 - a. informar aos visitantes sobre a importância ecológica desempenhada pelos macacos-prego a fim de contribuir para a conservação da espécie no PNB;
 - b. aplicar jogos interativos, vídeos educativos e realizar trilhas guiadas com o intuito de sensibilizar os visitantes sobre os primatas;
 - c. sugerir planos de manejo para reduzir os conflitos e interações negativas entre humanos e primatas no PNB.

Estudo-Piloto

Com o intuito de identificar a área a ser estudada e fazer o conhecimento exploratório do grupo de macacos-prego-amarelos observados, foi realizado um estudo-piloto entre os meses de agosto a novembro de 2019. Aproximadamente 20 visitas mensais foram conduzidas com a presença de duas pesquisadoras na área de visitação pública e regiões de mata de galeria ao Parque Nacional de Brasília. A equipe de campo era composta por quatro participantes onde sempre os mesmos tons de vestimenta eram utilizados para auxiliar na habituação dos primatas. Trilhas sinalizadas com fitas coloridas anteriormente abertas por outros pesquisadores foram utilizadas para facilitar a localização dentro da mata de galeria e vistorias das áreas à procura dos animais foram realizadas periodicamente durante este período.

Sujeitos

O grupo de *S. libidinosus* observado era formado por dez indivíduos (Tabela 1). Em 29 de dezembro de 2019, foi registrado o nascimento do décimo membro do grupo denominado de Abu. Porém, como a data de nascimento da maioria dos indivíduos do grupo é desconhecida, a determinação da classe-etária foi realizada com relação aos caracteres sexuais secundários e o desenvolvimento dos topetes. A determinação do sexo foi feita em sujeitos adultos e subadultos devido à dificuldade na identificação de fêmeas, as quais podem ser confundidas com machos devido à presença de um clitóris alongado até a fase de amadurecimento sexual (Freese & Oppenheimer, 1981). Desta forma, o grupo de estudo foi composto por: um macho alfa (Rambo; Figura 5a); uma fêmea alfa (Rihanna; Figura 5b); um macho adulto (Mãozinha); uma fêmea adulta (Cotoca); um macho subadulto (Richard); uma fêmea subadulta (Spike); três juvenis (Romã, Goku e Caju); e um filhote (Abu) (Tabela 1). A habituação dos indivíduos com as pesquisadoras e sua identificação levou aproximadamente três meses (agosto a outubro de 2019). Esta identificação foi realizada por meio de características físicas, padrões de coloração, formato de topetes, cicatrizes e ausência de membros.



Figura 5. Indivíduos adultos de *Sapajus libidinosus* (macaco-prego-amarelo) a. Macho adulto e alfa do grupo de macacos-prego-amarelos observados; b. Fêmea adulta e alfa do grupo de macacos-prego-amarelos observados no Parque Nacional de Brasília. Fotos: Samara de A. Teixeira.

Tabela 1. Composição do grupo de *S. libidinosus* no Parque Nacional de Brasília.

Indivíduo	Abreviação	Sexo	Classe etária	Parentesco
Rambo	RMB	Macho	Adulto	----
Rihanna	RHN	Fêmea	Adulta	----
Cotoca	CTC	Fêmea	Adulta	----
Mãozinha	MAO	Macho	Adulto	----
Richard	RCH	Macho	Subadulto	Filho da Rihanna
Spike	SPK	Fêmea	Subadulta	----
Romã	RMA	Macho	Juvenil	Filho da Rihanna
Goku	GKO	Fêmea	Juvenil	Filha da Cotoca
Caju	CJU	Indeterminado	Juvenil	Filhote da Cotoca
Abu	ABU	Indeterminado	Filhote	Filhote da Rihanna

Considerações Éticas

O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso Animal (CEUA) do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília sob nº 23106.146334/2018-83. O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) através do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) emitiu a licença para a realização do projeto no Parque Nacional de Brasília (nº 67127-3; Anexo I). O estudo 3 contou com o financiamento do International Primatological Society (IPS) por meio do edital Lawrence Jacobsen Education Development Grant.

Formatação da Tese

Os estudos estão formatados seguindo as regras referentes à cada revista científica destinada e as referências bibliográficas de acordo com a American Psychology Association (APA). O estudo 3 é um estudo descritivo, portanto, não possui testes estatísticos. O estudo 2 foi publicado na revista científica *American Journal of Primatology* e pode ser acessado [aqui](#).

Referências

- Abbott, D. H., Keverne, E. B., Bercovitch, F. B., Shively, C. A., Mendoza, S. P., Saltzman, W., Snowdon, C. T., Ziegler, T. E., Banjevic, M., Garland, T., & Sapolsky, R. M. (2003). Are subordinates always stressed? A comparative analysis of rank differences in cortisol levels among primates. *Horm Behav.* (43), 67–82.
- Aguiar, L. M. S., R. B. Machado, and J. Marinho-Filho. 2004. A Diversidade Biológica do Cerrado. in L. M. S. Aguiar and A. Camargo, editors. *Ecologia e Caracterização do Cerrado*. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.
- Archie, E. A., Altmann, J., & Alberts, S. C. (2012). Social status predicts wound healing in wild baboons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (109), 1-6.
- Arroyo-rodríguez, V., Melo, F. P., Martínez-ramos, M., Bongers, F., Chazdon, R. L., *et al.* (2017). Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. *Biological Reviews*, (92), 326–340.
- Bispo, C., Morisso, M., & Mora. T. (2010). Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. *Acta Botânica Brasilica*, (24), 96–103.
- Boinski, S. U., Swing, S. P., Gross, T. S., & Davis, J. K. (1999). Environmental Enrichment of Brown Capuchins (*Cebus apella*): Behavioral and Plasma and Fecal Cortisol Measures of Effectiveness. *American Journal of Primatology*. (68), 49-68.

- Cardoso, N. (2008). Frugivoria e dispersão de sementes por mico-leão-da-cara-dourada (*Leontopithecus chrysomelas*) na Reserva Biológica de Una - Bahia. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.
- Chiarello, A. G., Aguiar, L. D. S., Cerqueira, R., Melo, F. R., Rodrigues, F. H., & Silva, V. M. F. (2008). Mamíferos ameaçados de extinção no Brasil. *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção*, 2, 680-880.
- Decanini, D. P., & Macedo, R. H. (2008). Sociality in *Callithrix penicillata*: II. Individual Strategies During Intergroup Encounters. *International Journal of Primatology*, (29) 627-639.
- Eiten, G. 1972. The Cerrado Vegetation of Brazil. *Botanical Review* 38:201-341.
- Ellis, J. J., Maclarnon, A. M., Heistermann, M., & Semple, S. (2011). The social correlates of self-directed behaviour and faecal glucocorticoid levels among adult male olive baboons (*Papio hamadryas anubis*) in Gashaka-Gumti National Park, Nigeria. *African Zoology*, (46), 302-308.
- Falótico, T., Coutinho, P. H. M., Bueno, C. Q., Rufo, H. P., & Ottoni, E. B. (2018). Stone tool use by wild capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) at Serra das Confusões National Park, Brazil. *Primates*, 59(4), 385-394.
- Fragaszy, D. M., Visalberghi, E. & Fedigan, L. (2004). The complete capuchin – the biology of the genus *Cebus*. *Cambridge University Press*, 339p.
- Freese, C. H., & J. R. Oppenheimer. (1981). The capuchin monkey, genus. *Cebus*. In: J. COIMBRA-FILHO & R. A. MITTERMEIER (eds.). *Ecology and Behavior of Neotropical Primates*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro. 1: 331–390.
- Goymann, W., E. Mostl, T. V., East, M. L., & Hofer, H. (1999). Noninvasive fecal monitoring of glucocorticoids in spotted hyenas, *Crocuta crocuta*. *Gen. Comp. Endocrinol.* (114), 340–348.
- Goymann, W., & Wingfield, J. C. (2004). Allostatic load, social status and stress hormones: the costs of social status matter. *Animal Behaviour*, (67), 591–602.
- Hirsch, A., L. G. Dias, L. O. Martins, R. F. Campos, E. C. Landau, N. A. T. Resende. 2002. BDGEOPRIM – Database of geo-referenced localities of neotropical primates. *Neotropical Primates*, 10: 79-84.
- IBGE. (2017). Mapa de biomas e de vegetação. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm> Acesso em: Janeiro de 2024.
- IBGE (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>.

- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/o-que-fazemos/visitacao/ucsabertas-a-visitacao/213>
- Jordano, P. (2014). Fruits and frugivory. In R. S. Gallagher (Ed.), *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*, 18–61.
- Keay, J. M., Singh, J., Gaunt, M. C., & Kaur, T. (2006). Fecal Glucocorticoids and their Metabolites as Indicators of Stress in various Mammalian species: *A Literature Review. Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 37(3), 234-244.
- Kierulff, M. C. M., Ruiz-Miranda, C. R., De Oliveira, P. P., Beck, B. B., Martins, A., Dietz, J. M., Rambaldi, D. M., & Baker, A. J. (2012). The Golden lion tamarin *Leontopithecus rosalia*: a conservation success story. *International Zoo Yearbook*, 46(1), 36-45.
- Klink, C. A., & Machado, R. B. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*, 1(1), 147-155.
- Lazaro-Perea, C. (2001). Intergroup interactions in wild common marmosets, *Callithrix jacchus*: territorial defence and assessment of neighbours. *Animal Behaviour*, (62), 11-21.
- Ludwig, G., Aguiar, L. M., & Rocha, V. J. (2005). Uma avaliação da dieta, da área de vida e das estimativas populacionais de *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) em um fragmento florestal no norte do estado do Paraná. *Neotropical Primates, Belo Horizonte*, 13(3), 12–18.
- Machado, R. B., M. B. R. Neto, P. G. P. Pereira, E. F. Caldas, D. A. Gonçalves, N. S. Santos, K. Tabor, and M. Steininger. 2004. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Brasília-DF.
- McEwen, B. S., & Wingfield, J. C. (2003). The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Hormones and behavior*, 43(1), 2-15. [https://doi.org/10.1016/S0018-506X\(02\)00024-7](https://doi.org/10.1016/S0018-506X(02)00024-7)
- Mendonça-Furtado, O. (2012). Medidas de metabólitos de cortisol em macacos-prego (Gênero *Sapajus*): análise comparativa entre populações para investigação de fatores estressores. (Tese de doutorado em Psicologia Experimental) – Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Mikich, S. B., & Silva, S. M. (2001). Composição florística e fenologia das espécies zoocóricas de remanescentes de floresta estacional semidecidual no centro-oeste do Paraná, Brasil. *Acta Botânica Brasilica, Brasília, DF*, 15(1), 89–113.
- Mikich, S. B., & Liebsch, D. (2014). Assessment of food supplementation and surveillance as techniques to reduce damage caused by black capuchin monkeys *Sapajus nigritus* to forest plantations. *Current Zoology*, 60(5), 581-590.
- Mittermeier, R. A., Robles-Gil, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J. D., Brooks, T. B., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J. L. & Fonseca, G. A. B. (2004). Hotspots Revisited: Earth's

Biologically Richest and Most Endangered Ecoregions. CEMEX, Mexico City, Mexico 390pp.

- Moberg, G. P. (2000). Biological response to stress: implications for animal welfare. In *The biology of animal stress: Basic principles and implications for animal welfare*. (pp. 1-21). Wallingford UK: CABI publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851993591.0001>
- Möstl, E., & Palme, R. (2002). Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology*, (23), 67–74.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. Fonseca, and J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Paglia, A. P., G. A. B. Fonseca, A. B. Rylands, G. Herrmann, L. M. S. Aguiar, A. G. Chiarello, Y. L. R. Leite, L. P. Costa, S. Siciliano, M. C. M. Kierulff, S. L. Mendes, V. d. C. Tavares, R. A. Mittermeier, and J. L. Patton. 2012. Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil. 2ª edition. Conservation International, Arlington, VA.
- Rangel, C. H., Adler, J. G. V., Heliodor, G. C., Santos Jr, A., & Verona, C. E. (2013). Relato de caso de morte por agressão entre macacos-prego *Sapajus nigritus* (Primates: Cebidae) no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. *Neotropical Primates*, 20(1), 48-52.
- Rodrigues, M. G. (1992). Sazonalidade da dieta de vertebrados frugívoros em uma dieta semidecídua no Brasil. Dissertação de mestrado. Unicamp, 114p.
- Sapolsky, R. M. (2002). Endocrinology of the stress-response. In J. B. Becker, S. M. Breedlove, D. Crews, & M. M. McCarthy (Eds.), *Behavioral endocrinology* (pp.409-450). Cambridge, MA, US: MIT Press.
- Savage, A., & Guillen, R. (2012). Conserving Cotton-top tamarins *Saguinus oedipus* through effective captive management, public engagement and in situ conservation efforts. *International Zoo Yearbook*, 46(1), 56-70.
- Schino, G., Scucchi, S., Maestriepieri, D., & Turillazzi, P. G. (1988). Allogrooming as a Tension-Reduction Mechanism: A Behavioral Approach. *American Journal of Primatology*, (16), 43-50.
- Silva, J. M. C. (1995). Biogeographic analysis of the South American Cerrado avifauna. *Steenstrupia*, 21:49-67.
- Silva, J. D., & Santos, M. P. D. (2005). A importância relativa dos processos biogeográficos na formação da avifauna do Cerrado e de outros biomas brasileiros. *Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 220-233.
- Selye, H. (1950). Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal*, (1), 1383-1392.
- Setchell, J. M., Smith, T., Wickings, E. J., & Knapp, L. A. (2010). Stress, social behaviour, and secondary sexual traits in a male primate. *Hormones and Behavior*, (58), 720-728.

- Silva, J. M. C. d., & J. M. Bates. (2002). Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. *BioScience*, (52), 225-234.
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., ... & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's forest code. *Science*, 344(6182), 363-364. DOI: [10.1126/science.1246663](https://doi.org/10.1126/science.1246663)
- Strassburg, B. B., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., ... & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, 1(4), 0099. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>
- Tavares, M. C. H., & Tomaz, C. (2002). Working memory in capuchin monkeys (*Cebus apella*). *Behavioural Brain Research*, 131(1-2), 131-137.
- Wingfield, J. C., Maney, D. L., Breuner, C. W., Jacobs, J. D., Lynn, S., Ramenofsky, M. & Richardson, R. D. (1998). Ecological bases of hormone behavior interactions: the emergency life- history stage. *American Zoologist*, (38), 191-206.
- Ziegler, T. E. & Wittwer, D. J. (2005). Fecal steroid research in the field and laboratory: improved methods for storage, transport, processing, and analysis. *American Journal of Primatology*, (67), 159–174.

ESTUDO 1

Agonistic behaviour affects fecal cortisol levels in bearded capuchin monkeys
(*Sapajus libidinosus*) in Brasilia National Park

Uma versão deste capítulo será preparada como manuscrito e submetida para publicação em *Hormones and Behavior*.

Agonistic behavior affects fecal cortisol levels in bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) in Brasilia National Park

Samara de Albuquerque Teixeira^{1*}, Raiane dos Santos Guidi², Maria Clotilde Henriques Tavares¹, Torbjørn Haugaasen³

¹ Instituto de Biologia, CFS, Bloco G, 1º andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 70910-900, Brazil

² Instituto Fauna Brasil, Servidão Henrique Thomáz Nunes, 900 – São João do Rio Vermelho, Florianópolis, Santa Catarina, 88060-315, Brazil

³ Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences and Natural Resource Management, 1432 Ås, Norway

*Corresponding author at: Instituto de Biologia, CFS, Bloco G, 1º andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 70910-900, Brazil.

E-mail address: biologia.samara@gmail.com (Samara de A. Teixeira).

Abstract

Understanding the physiology of stress in primates is vital to behavioral endocrinology and aims to promote the well-being of free-living animals. This study aimed to characterize stress physiology through the analysis of fecal cortisol, a stress hormone, in a population of bearded capuchin monkeys in Brasilia National Park. We employed focal animal and *ad libitum* behavioral observations on a group of nine individuals over six months. Behavioral records included non-social, self-directed, affiliative, submission and dominance behaviors, and agonistic behaviors. We collected 125 fecal samples for cortisol analysis and cortisol levels were measured using the enzyme immunoassay method. Primates spent most of their time feeding (32.8%) and foraging (32.63%). Neither gender nor shift (morning or afternoon) affected the animals' cortisol levels. Additionally, we found no correlations between self-directed and affiliative behaviors and cortisol levels. Hierarchical status also did not influence fecal cortisol levels among individuals. However, the number of agonistic behaviors (e.g. aggression, threats, attacks) an individual engaged in affected cortisol levels, suggesting that the more frequently an individual engages in agonistic behaviors, the higher their cortisol levels. Physiological changes such as chronic elevation of cortisol levels can lead to a range of health complications for these animals. Further investigations into the behavioral physiology of these primates are strongly recommended to develop conservation measures that ensure their health and well-being.

Keywords: fecal cortisol, stress, agonistic behavior, *Sapajus libidinosus*, Brasilia National Park.

Introduction

An animal's physical and physiological well-being is directly influenced by their living conditions (Fraser et al., 2009). However, assessing well-being can be complex, as numerous variables may be involved. One way to assess this is via stress and methods for assessing stress levels include measuring levels of glucocorticoid hormones (GCs) (Abbott et al., 2003; Rangel-negrin et al., 2009), leukocyte profiles (Davis et al., 2008), and/or recording behaviors potentially indicative of anxiety and stress, known as self-directed behaviors (SDBs) (Pomerantz et al., 2013). However, there is not yet a definitive understanding of how these measures relate to stress, necessitating the convergence of different methods (Romero, 2004; Stetz et al., 2013; Madliger & Love, 2014).

Non-human primates are therefore a useful study group. In primates, the response to stressors works through the release of glucocorticoids and is regulated by the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis (Möstl & Palme, 2002). The HPA releases a type of glucocorticoid known as cortisol, or the "stress hormone," into the bloodstream. These hormones redirect blood flow and mobilize glucose from the liver to other organs necessary for responding to stressful situations, such as mobilizing strength to skeletal muscles and increasing heart rate (Sapolsky, 1990). Prolonged activation of the HPA axis can therefore have negative effects on the individual's health and "fitness" (their ability to function efficiently in daily activities, maintaining the health of the entire organism), such as hypertension, cardiovascular diseases, impaired immune system, muscular and skeletal fatigue and reduced reproductive function (Rangel-Negrín et al., 2009; Mendonça-Furtado, 2012; Madliger & Love, 2014).

In addition, primates are generally group-living and have a well-developed social system and can be observed over time. Behavioral indicators of a subject's emotional state can thereby be observed and evaluated. For example, studies show that a high frequency of SDBs, such as scratching, self-grooming, yawning, and body shaking, is closely related to high levels of stress and anxiety (Maestriperi et al., 1992). Aggression, conflicts, and agonistic behaviors (such as fights and threats) can increase SDB rates, particularly when there is instability in relationships between individuals and the overall social structure of the group (Das et al., 1998). Conversely, post-conflict reconciliations and affiliative behaviors, such as grooming and social interactions between individuals, serve to reduce stress, thereby decreasing instances of SDBs (Aureli et al., 1989; Aureli & van Schaik, 1991).

Cortisol levels and self-directed behaviors may be influenced by external or internal factors and stressors may be chronic and acute. Chronic stressors persist over time (e.g., scarcity

of food resources, social status, and loss of habitat), whereas acute stressors persist for short periods (e.g., weather phenomena and predator attacks). Many primate studies assume that increased glucocorticoid levels are a sign of stressful environments (Madliger & Love, 2014). However, evidence suggests that the correlation between these hormones and the environment is complex and there are numerous variables that can influence the result. These variables include age, gender, diet, hierarchy within the group (Romero, 2004; Madliger & Love, 2014; Stetz et al., 2013).

Dominance relationships between individuals are for example a defining feature of social groups, as these interactions tend to consistently favor one individual over another (Drews, 1993). An individual is deemed dominant when there is an asymmetry in the agonistic interactions between two individuals. Challenges linked to dominance and subordination can trigger an increase in glucocorticoid production and SDBs (Goymann & Wingfield, 2004; Sapolsky, 2005).

A non-invasive procedure for quantifying cortisol, and thus stress in animals, is the measurement of fecal metabolites of glucocorticoids. Invasive procedures, such as intravenous blood collection, can directly influence the release of cortisol into the animal's bloodstream and are therefore unsuitable. Feces are excreted over varying periods, so measurements of fecal cortisol reflect the circulating cortisol levels over several hours or days. These measurements represent an estimate of overall production during periods of low and high hormone production (in this case, cortisol). Most studies use opportunistic sampling and estimate average glucocorticoid production over long periods (weeks, months). To better quantify individual differences in glucocorticoid production requires frequent sampling for each individual over a significant period of time. Combining behavioral observations with fecal collection and subsequent cortisol analyses of these is therefore a good way to improve our understanding of stress in primates.

In this paper, we combine behavioral observations with analysis of fecal cortisol levels among individuals in a bearded capuchin monkey group that has frequent interactions with human visitors in Brasilia National Park. More specifically, we aimed to uncover whether time of day, gender, self-directed, affiliative, and agonistic behaviors or an individuals' hierarchical classification within the group affected cortisol levels among individuals of the group. We discuss the results in relation to previous studies of the focal group and elsewhere.

Methods

Study area

This study was conducted within Brasilia National Park (BNP) (15° 38' 28" S, 48° 1' 15" W), a protected area of approximately 42,500 hectares located within an urban matrix (ICMBio, 2021). Situated in the northwest corner of the Federal District, Brazil, the park is approximately ten kilometers from the city center of Brasilia. BNP is one of the most frequented urban parks in Brazil and open to public visitation with 251,000 visitors recorded in 2019. The park contains two natural pools of water frequented by visitors and the forest areas surrounding the pools are part of bearded capuchin monkey territory (ICMBio, 2021). Interactions between humans and these primates are intense and have been occurring for over twenty years.

The study site features gallery forests and Cerrado *sensu stricto* (Bispo et al., 2010). The fauna is diverse and abundant, hosting several threatened and rare species such as the giant armadillo (*Priodontes maximus*), ocelot (*Leopardus pardalis*), giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*), and maned wolf (*Chrysocyon brachyurus*; ICMBio, 2021). However, only three primate species are present in BNP: *S. libidinosus*, Spix 1823; *Callithrix penicillata*, É. Geoffroy Saint-Hilaire 1812; *Alouatta caraya*, Humboldt 1812 (dos Reis et al., 2015). The region has a well-defined seasonal climate with dry, cold winters (May to September) and rainy summers (October to April) (Oliveira-Filho & Ratter, 2002).

Data collection and study group composition

Data collection began in October 2019 and was abruptly terminated in March 2020 due to the park's closure amid the COVID-19 pandemic. The data collection involved systematic monitoring of a group of nine bearded capuchin monkeys inhabiting the gallery forests around the pools in BNP, from dawn (7:00 a.m.) until dusk (5:00 p.m.), four times a week. Initially, the group comprised nine individuals, but a tenth member was born on December 29, 2019 (Table 1). Over a six-month period, we dedicated 154 hours and 48 minutes to observing the primates and collecting behavioral data from all individuals in the bearded capuchin group, except the infant (Table 2).

Table 1. Composition of the bearded capuchin monkey study group in Brasilia National Park.

Individual	Sex	Age class	Kinship
Rambo	Male	Adult	----
Rihanna	Female	Adult	----
Cotoca	Female	Adult	----
Mãozinha	Male	Adult	----
Richard	Male	Subadult	Rihanna's kin
Spike	Female	Subadult	----
Romã	Male	Juvenile	Rihanna's kin
Goku	Female	Juvenile	Cotoca's kin
Caju	Undetermined	Juvenile	Cotoca's kin
Abu	Undetermined	Infant	Rihanna's infant

Behavioral data was collected using 'focal animal' and *ad libitum* methods for all individuals ($N = 9$), excluding the infant, over ten-minute intervals for each individual (Altmann, 1974). These methods were implemented randomly for all individuals, depending on the animal's location within the observer's visual range. Once a focal sample was completed for one individual, behavioral recording would commence for another individual. One researcher carried out all behavioral recordings (Table S6), while another researcher conducted fecal collections.

When any individual bearded capuchin was seen defecating, we immediately collected the feces on the ground or on surrounding vegetation. All individuals were identified, and fecal samples were labeled with the primate ID, date collection, time of day (morning – 7 a.m. to 11:59 a.m.; afternoon – 12 p.m. to 5 p.m.) and had their location georeferenced using a handheld Global Positioning System (GPS) unit (Garmin GPSMAP 64s). Each sample was stored in a 2 ml Eppendorf tube, marked with the primate's individual name the fecal sample belonged to, collection time, date, and GPS location. A 12-liter thermal box with artificial ice was used to transport the samples to the Neuroscience and Behavior laboratory at University of Brasília every day, and feces were then stored in a freezer at -20°C (Keay et al., 2006). A total of 129 fecal samples were collected, but four were discarded from further analyses due to insufficient volume, resulting in a total of 125 fecal samples ($N = 9$; Table 2).

Table 2. Behavioral sampling effort (in hours and minutes) and the total number of fecal samples collected for each individual bearded capuchin monkey in the study group in Brasília National Park.

Individual	Hours (h) and minutes (min)	N° of fecal samples
Mãozinha	40 h 14 min	18
Richard	20 h 54 min	25
Rambo	20 h 34 min	18
Rihanna	20 h 33 min	11
Spike	10 h 42 min	19
Cotoca	10 h 36 min	10
Romã	10 h 27 min	8
Caju	10 h 25 min	6
Goku	10 h 23 min	10
TOTAL	154 h 48 min	125

Behavioral records included non-social behaviors (still, moving, resting, feeding, foraging), self-directed behaviors (yawning, self-grooming, scratching, body shaking), affiliative behaviors (playing, grooming – received and given, food sharing), submissive behaviors (fleeing, screeching, moving away, submissive grin, open mouth grin, scalp lifting), and dominant behaviors (shaking tree trunks, threatening, hitting, supplanting, mounting) that include agonistic behaviors. For the description of all behavioral records, see Tables S1-5.

Laboratory analysis

The steps of fecal sample lyophilization, hormone extraction, and cortisol measurement by radioimmunoassay were performed using a commercial diagnostic set (MPBiomedicals, ImmuChem coated tube, Ohio), and glucocorticoids were measured by enzyme immunoassay. A commercial kit from Arbor Assay was used to calculate glucocorticoid levels (according to the manufacturer's protocol), and laboratory validation was performed using an intact matrix to which a known concentration of the hormone (cortisol - Sigma) was added. All processes were carried out at the Hormonal Research Laboratory in São Paulo.

Lyophilization of fecal samples

The samples were first lyophilized using a Liotop freeze-drying device (Liobras model L 108) (Figure 1a). Lyophilizing each sample standardizes the weight of the fecal material used for analysis and ensures the absence of bacterial action, as bacteria require water for their development. This process lasted from 12 to 24 hours. The samples were kept frozen for 24 hours at -30°C before being placed in the freeze-dryer to begin the lyophilization process (Figure 1b).

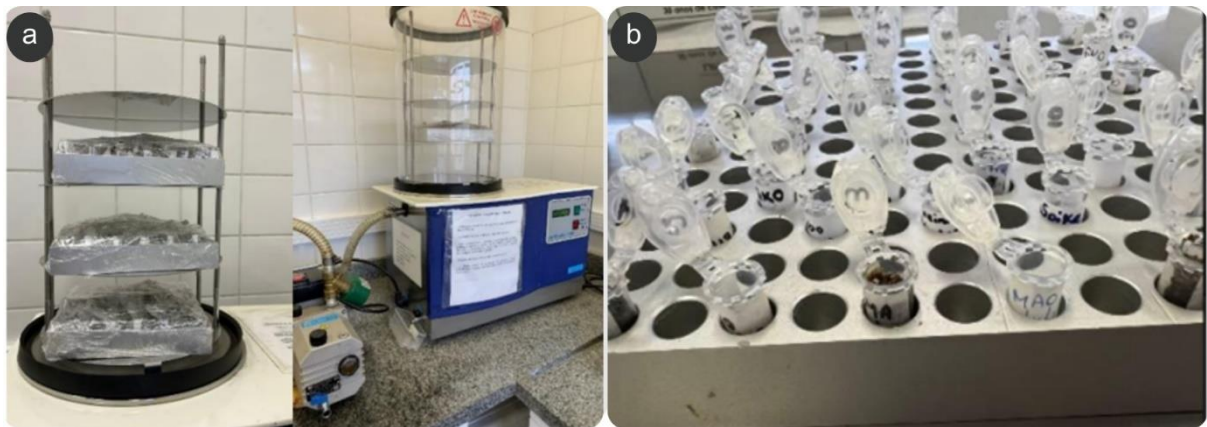


Figure 1. Fecal samples used for hormone extraction. (a) Fecal samples in a Liotop freeze-drying device; (b) Fecal samples before starting the lyophilization process.

Hormone extraction

The extract obtained from feces must contain fecal metabolites of glucocorticoids and not the hormone in its original form. The methodology used in the extraction of fecal metabolites was in accordance with the technique described by Palme (2005). After the lyophilization process, the samples were individually weighed, and 0.2 g of each dry fecal sample was removed and homogenized in 2 ml of 80% methanol (Methanol P.A. from Merck) and 20% distilled water for the resuspension process. Resuspension of fecal material will aid in extraction steps while preserving the metabolites profile.

Each sample was subsequently taken to the multivortex device (VWR VX-2500 multi tube) in which the material was homogenized for 30 minutes. Afterwards, the samples were centrifuged for 15 minutes at 1500 g (Hettich Centrifuge – Universal model 320). The supernatant was then extracted and transferred to a polypropylene tube (Eppendorf). This fecal extract was stored at -20°C until the hormonal assays were performed.

For the radioimmunoassay (RIA), the fecal sample extracts were diluted in the ratio of 1/4, 1/10, and 1/40, with the 1/4 dilution selected for optimal results. A gelatin buffer was used for dilution, consisting of NaPO₄ (13.8 g), Na Cl (9.0 g), sodium azide (1.0 g), and distilled water (1000 ml), with a pH of 7. For the enzymeimmunoassay (EIA), samples were diluted in a ratio of 1/10 (Figure 2), 1/40, and 1/100, with the 1/10 dilution to yield the best result.

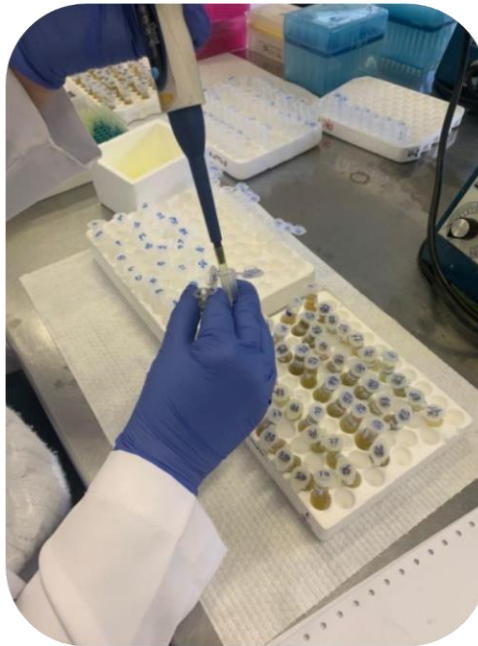


Figure 2. Fecal extract samples being diluted in Assay Buffer (1/10) after the dilution test.

Hormone dosage by EIA

Glucocorticoids were measured using enzymeimmunoassay (EIA). As the EIA hormonal measurement method is based on the binding of these metabolites to anti-cortisol antibodies, the affinity of the different metabolites to this antibody is variable. We used the commercial Cortisol kit, strictly adhering to the protocol provided by the manufacturer (Arbor Assay). High-absorption 96-well microplates were prepared, and 50 µl of each fecal sample (diluted fecal extract) was pipetted in duplicate into the wells.

After an incubation period of 30 minutes, the plates underwent four wash cycles, with each cycle using 300 µl of wash buffer. This was done in an automatic microplate washer (Model: Fluid 96-2 Asys Hitech Anthos) with a washing solution (NaCl 1, 5M 0.05% Tween 20). This process aimed to eliminate excess antibodies that had not bound. The plates were then inverted and thoroughly dried on paper towels.

Next, 100 μl of chromogenic substrate (TMB substrate) was added to all wells. The plate was then resealed and incubated at room temperature for another 30 minutes, allowing a reaction to occur until the optical density of the wells reached between 0.8 and 1.0. To stop the reaction, 50 μl of stop solution (H_2SO_4) was added to all wells.

Once the substrate reaction time had stopped, the absorbance of the metabolites was read using an automatic reader spectrophotometer (Model Multi Detector DTX 880, Beckman Coulter) with the 450 nm filter. The binding results obtained needed adjustment according to the extraction and volume protocol used. The formula for this adjustment is presented in the next step.

An additional assay was performed to check if samples from individuals with low fecal volume and adherence (i.e. binding of the antibodies) in the previous assay could be detected using a different method, antibody, and concentration. This second hormonal test was conducted using radioimmunoassays (RIA) with a commercial diagnostic set for measuring cortisol in human serum (MPBiomedicals, ImmuChem coated tube, Ohio) was used for this assay.

Transformation of fecal metabolites concentrations obtained by EIA and RIA

The fecal metabolites concentrations obtained in the glucocorticoid assay using the EIA method were expressed in pg/mL . To adapt the results to the fecal extract from which they were obtained, they were converted to pg/g of dry feces, then to ng/g of dry feces. This was done using the following equation:

$$\text{CF} = (\text{C} \times \text{Vfe} \times \text{D}) / (\text{PI} \times \text{Vext}) / 1000$$

where, CF = final concentration;

C = concentration provided by the EIE;

Vfe = volume of feces at the end of the extraction stage;

D = dilution used;

PI = initial weight;

Vext = volume of extract used in the hormonal assay.

The fecal metabolites concentrations obtained in the cortisol assay using the RIA method were expressed in $\mu\text{g/mL}$. To adapt these results to the fecal extract, they were converted to $\mu\text{g/g}$ of dry feces using the following equation:

$$\text{CF} = (\text{C} \times \text{Vfe} \times \text{D}) / \text{PI}$$

where, CF = final concentration;

C = concentration provided by the RIA;

V_{fe} = volume of feces at the end of the extraction stage;

D = dilution used;

PI = initial weight.

Laboratory validation by Parallelism for the methodology by EIA

Validations by parallelism help to understand assay relative accuracy. Parallelism using an intact matrix indicates whether the hormone from the studied species interferes with the antigen-antibody binding with the antibody from the commercial set. The validation by parallelism evaluates assay matrix effects through assessing relative accuracy by plotting signals against the dilutions or fecal metabolites concentration used.

A "pool" of the remaining material from the lower concentration samples was used. A known concentration of the cortisol standard (sigma) was added to this sample pool to bring it closer to the maximum point of the standard curve provided by the commercial set, at a value of 3,200 pg/mL. After this step, serial dilutions were performed to construct a curve with values approximating those provided by the kit (3,200; 1,600; 800; 400; 200, and 50 pg/mL). The result obtained to verify parallelism in the method used was represented by the equation $Y=2.305+1.137*X$; $R^2=998$ ($R^2=0.998$, $p<0.0010$). This parallelism value (R^2) demonstrates that the concentrations of the standards provided in the kit follow the standard curve within the expected range prepared by the manufacturer.

The final curve for parallelism verification of each sample should reflect the combined binding affinity for the metabolite and matrix interferences. Without assertiveness of parallelism, researchers are unable to calculate reliable estimates for serum antibody concentrations. The plots present a clear visualization of the relationship between the metabolite concentration (pg/mL) and assay response for each sample (Figure 3), which emphasizes the importance of determining the optimal range of dilutions for each sample. These plots can ultimately lead to the attainment of accurate and reliable results. As such, incorporating validation parallelism into the validation process of quantitative laboratory tests is an essential step to ensure confidence.

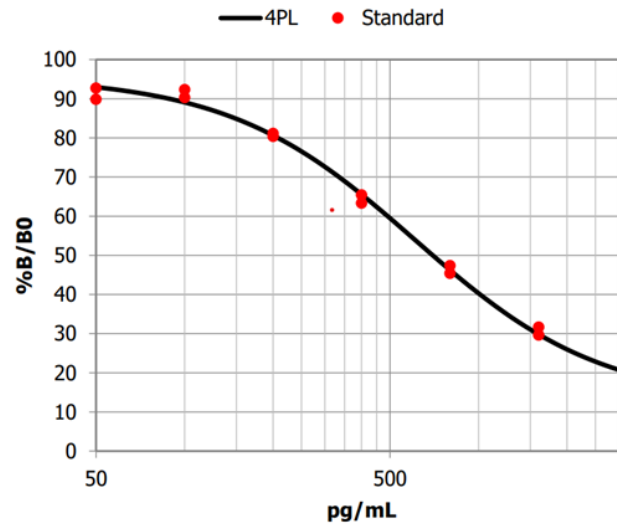


Figure 3: Standard curve for parallelism verification obtained in the EIA. The Y axis represents the percentage of absorbance obtained from the spectrophotometer for well B0. The X axis is the value of hormone concentrations.

Data analysis

To analyze the social structure of the group and verify the hierarchical classification of each individual, the SocProg software version 2.9 was used through quantitative dyadic associations based on the behavioral analyzes of submission and dominance behaviors (Tables S5-6) (Whitehead, 2009). The program allows you to generate a sociogram with the level of interaction between individuals in the group, describing the individual's role in the social network. In this case, a directed and weighted social network was generated which allows for greater number of links (a fundamental unit of a social network that connects two nodes) between each node (a fundamental unit of a social network, e.g. individual).

The individual's hierarchical classification is represented by a number that, in this case, characterizes the position within the group (Table 3). The higher the number, the lower the animal is in the hierarchical classification and the lower the number, the higher the individual's social status within the group. To calculate each individual's David's Score (DS), we followed David (1963). In brief, to calculate each individual's DS, the number of dyadic victories and defeats (i.e., interactions between two individuals) is considered. First, dyadic win proportions are calculated. The proportion of individual *i*'s victories in their interactions with another individual *j* (P_{ij}) is calculated as the number of times that *i* defeats *j* (S_{ij}), divided by the total number of interactions between *i* and *j* (n_{ij}). Therefore, $P_{ij} = S_{ij} / n_{ij}$. The proportion of *i*'s

losses in its interactions with j (P_{ji}) equals $1 - P_{ij}$. If $n_{ij} = 0$, then $P_{ij} = 0$ and $P_{ji} = 0$ (David, 1963).

Table 3. Dominance hierarchy with David's scores (DS) of the bearded capuchin monkeys studied in the Brasilia National Park.

Hierarchical classification	Individual	David's Score
1	Rambo	18.27
2	Mãozinha	5.00
3	Romã	4.00
4	Rihanna	2.91
5	Richard	-0.18
6	Spike	-7.00
7	Goku	-7.00
8	Cotoca	-7.00
9	Caju	-9.00

The activity budget of the group was calculated by determining the relative frequency of each behavioral category for non-social behaviors per focal animal.

Residuals of time of day and gender were plotted to check for heteroskedasticity and normality of the data. A generalized linear mixed model (GLMM) was used to investigate the effects of shift and gender (predictor variables) on cortisol levels (response variable). The models for gender and shift violated the assumption of normality, meaning the variances were not homogeneous. A GLMM with gamma (γ) distribution was therefore adjusted to model the asymmetric values related to these variables.

Simple linear regression (SLR) was used to assess any correlation between variation in cortisol concentrations (response variable) of each individual and self-directed, affiliative, and agonistic behaviors (predictor variables). To examine cortisol levels (response variable) in relation to an individual's hierarchical status within the group, a simple linear model (SLM) was used. In this case, the predictor variable was the individual's David's Score index.

All statistical analyses were performed using R software, version 4.3.2. (R Development Core Team, 2018).

Results

Bearded capuchin monkeys spent most of their time feeding (32.8%) and foraging (32.63%). Social interactions, which encompass social play, grooming, and the sharing of food resources, were observed 13.51% of the time. All other activities accounted for less than 10% of the observed behaviors (Figure 4).

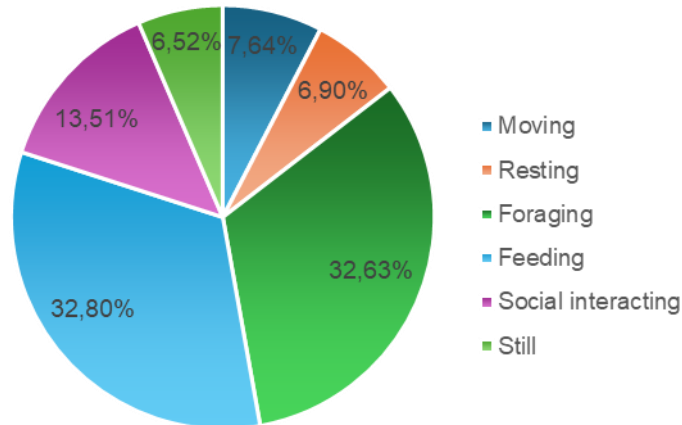


Figure 4. Activity budget of the bearded capuchin monkey study group in Brasilia National Park, between the months of November 2019 and March 2020.

The average cortisol level of the alpha female, Rihanna, was the lowest within the group, at 11.24 ng/g of dry feces. In contrast, her son, Richard, had the highest average cortisol level in the group, at 322.2 ng/g of dry feces, closely followed by the alpha male, Rambo, with 244.94 ng/g of dry feces (Figure 5). Cortisol levels from all fecal samples for each individual can be found in Table S7.

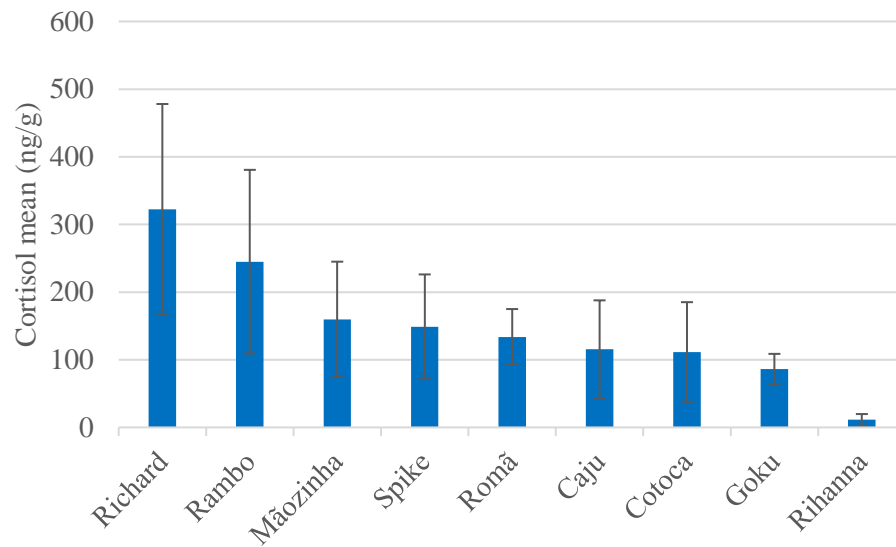


Figure 5. Mean fecal cortisol (ng/g df) of each *S. libidinosus* individual in the study group from Brasilia National Park.

Mãozinha engaged in self-directed behaviors most frequently, with a total of 610 records, while Rihanna and Goku exhibited the fewest instances of these behaviors, with 155 and 60 records, respectively (Table 4). Additionally, Spike and Richard engaged in affiliative behaviors most frequently (115 and 104 records, respectively), though not necessarily with each other. However, there were no significant effects of gender ($\chi= 3.5881$, $df=2$, $p=0.16$) or time of day ($\chi= 0.0023$, $df=1$, $p=0.96$) on cortisol levels. In addition, neither self-directed nor affiliative behaviors significantly correlated with cortisol levels ($F_{1,7}=0.5544$, $p=0.48$; $F_{1,7}=0.094$, $p=0.76$, respectively).

Table 4. Self-directed and affiliative behaviors among the bearded capuchin study group in Brasilia National Park. ‘Groom’ in affiliative behaviors corresponds to the sum of received and given grooming bouts.

Individual	Self-directed behaviors				Affiliative behaviors		
	Bodyshake	Yawn	Selfgroom	Scratch	Play	Groom	Share
Rambo	0	23	9	435	0	67	0
Mãozinha	0	20	69	521	27	12	0
Romã	9	0	3	226	78	11	0
Rihanna	11	0	9	155	0	65	1
Richard	10	0	6	341	90	13	1
Spike	10	0	6	374	81	34	0
Goku	0	0	7	60	57	4	1
Cotoca	0	0	0	330	3	32	1
Caju	0	0	0	170	30	25	0

On the contrary, the number of agonistic behaviors individuals engage in impacts cortisol levels ($F_{1,7}=11.501$, $p=0.01$). The more frequently an individual participates in agonistic behaviors, the higher their cortisol levels (Figure 6). Agonistic behaviors explained 62% of the variation in cortisol levels (estimated coefficient=4.735; $p=0.01$; $r^2=0.62$), indicating that for each instance of agonistic behavior in which an individual engages in, there is a 4.735-fold increase in cortisol levels. However, the difference between the number of agonistic behaviors received and given does not affect cortisol levels of an individual ($F_{1,7}=1.847$, $p=0.21$). Lastly, an individual's position in the hierarchy does not affect their fecal cortisol levels ($F_{1,7}=1.069$, $p=0.33$).

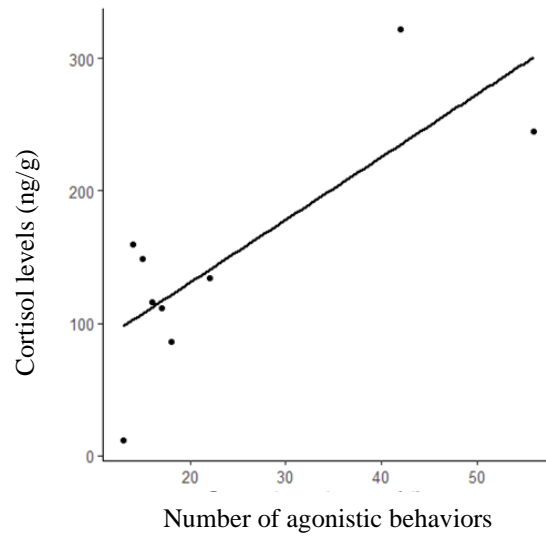


Figure 6. Fecal cortisol levels (ng/g) according to the number of agonistic behaviors experienced by individuals. Each black dot represents an individual.

The most weighted connection in the group network was between Rambo and Goku (Figure 7). Rambo showed directed ties with all nodes, in which he received only one agonistic behavior from Richard. Additionally, individuals (nodes) with lower hierarchical ranks (Spike, Goku, Cotoca, Caju) only received and did not perform agonistic behaviors (Figure 7).

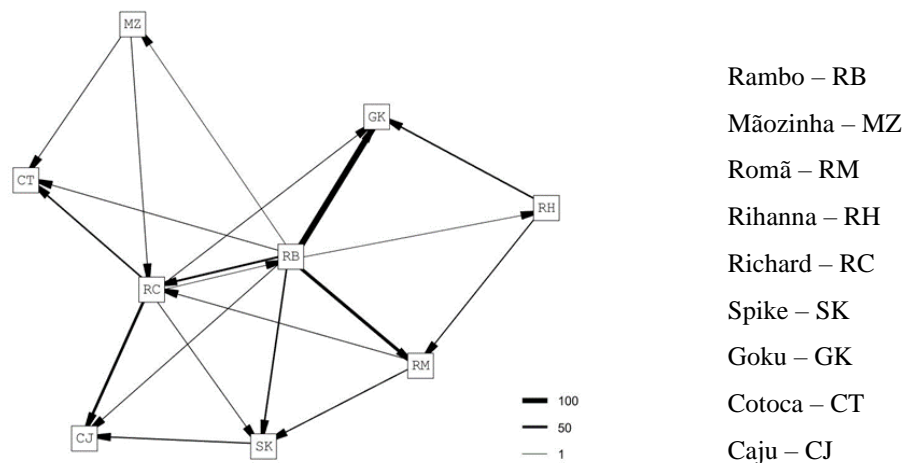


Figure 7. Sociogram of the bearded capuchin monkey study group in Brasilia National Park, showing the number of agonistic behaviors performed/received by individuals and to/from whom they are received/given. The thickness of the line represents the weight of the relationship between two nodes (individuals). The direction of the arrow indicates the direction in which the agonistic behavior was performed.

Discussion

Agonistic behavior was the only variable that significantly influenced cortisol levels in bearded capuchin monkeys. This result is consistent with previous studies where agonistic behaviors also had a significant effect on cortisol levels (Moreira, 2010; Mendonça-Furtado, 2012; Mendonça-Furtado et al., 2014, Torrico, 2023) and were identified as the primary cause of increased glucocorticoids among capuchin monkeys (genera *Sapajus*) (Mendonça-Furtado, 2012). Male individuals are more frequently engaged in agonistic behaviors than females and often scale up the hierarchical rank through fights and coalition (Bernstein, 1976; Clutton-Brock & Huchard, 2013).

Relative amount of stress experienced by subordinate and dominant individuals is commonly associated with the relationship between dominance rank and glucocorticoids (Abbott et al., 2003; Goymann & Wingfield, 2004; Sapolsky, 2002). However, this is not consistent with the results found in this study in which cortisol levels were unaffected by an individuals' hierarchical position in the group. Furthermore, the son of the alpha female and the alpha male had the highest mean cortisol levels. In case lower-ranking males have less access to social support, food resources and are exposed to more unpredictable social environments, they will usually secrete more GCs than higher-ranked males (Muller & Wrangham, 2004).

Cortisol levels slowly increase over the gestation period during the development of the fetus and the placenta. Hence, pregnant monkey females tend to have higher fecal cortisol levels compared with non-pregnant females (Carnegie et al., 2011). Previous studies have shown that the presence of a newborn infant in a group was associated with increased cortisol levels (Mendonça-Furtado, 2012). However, the lowest mean fecal cortisol level was found in the alpha female, despite being pregnant and subsequently nursing her infant. The presence of an infant in the group stirred excitement, particularly among females, who often approached the mother for potential interactions with the newborn. Spike was also frequently observed grooming Rihanna and was often seen carrying the infant (her sister) on her back. Although the presence of a newborn in a group could cause group tension, it appears that in this instance, this was not the case. Adult individuals can be uniformly tolerant to infants and young juveniles and dominance relations are somewhat diminished if compared to Old World Monkeys (Benítez et al., 2021).

While self-directed behaviors did not affect cortisol levels among individuals, the highest mean cortisol levels were found in individuals observed performing more of these behaviors. Conversely, individuals demonstrating fewer self-directed behaviors had the lowest

average fecal cortisol levels. However, each individual reacts differently to stressful situations as behavioral variations between individuals are highly specific (Broom & Molento, 2004). Gender did not significantly influence cortisol levels among individuals, although males in general had higher cortisol levels than females. This result is consistent with that of Ferreira et al. (2016) studying captive capuchin monkeys (*Sapajus* sp.).

In primates, it is especially difficult to elucidate the costs and benefits of an individual's social environment since most primate species live in groups where access to mates, food sources, and territory are defined by the competition between group members. Nevertheless, there are certain advantages to group living such as protection against predators and alliances (Oliveira & Dietz, 2011). Social interactions including social playing, grooming, and sharing of food resources, were indeed a prominent feature among individuals in the study group. However, these affiliative behaviors did not affect cortisol levels among individuals. The dominant individuals in the group, Rihanna and Rambo, were observed to have the highest number of grooming sessions. They were also the pair who performed the most mutual grooming, supporting findings from previous studies (Izar, 1994; Di Bitetti, 1997). We also found that primates spend most of their time feeding and foraging, corroborating previous studies conducted with the same study animals in different periods (Sabbatini et al., 2008; Sacramento, 2014; Back et al., 2019).

The time of fecal sample collection (morning or afternoon) did not influence cortisol levels among the bearded capuchin individuals. Cortisol levels often peak in the morning (between 6 a.m. and 10 a.m.) and individuals may thus experience increased circulating cortisol levels during this time (Kriegsfeld & Silver, 2006; Torres-Farfan et al., 2008). However, we did not find such a trend for the individuals in our study group. The study did not cover a full annual cycle due to the interruption by the Covid-19 pandemic. We were therefore unable to assess any effect of season on cortisol levels among members of the study group. However, a previous study showed that food items provisioned by or stolen from humans, such as cake, biscuits, exotic fruits, soft drinks and chips, were the second most commonly consumed dietary items for the group studied (de Albuquerque Teixeira et al., 2024). Food availability is therefore likely abundant year-round for these primates. Seasonality in natural food resources is therefore unlikely to cause stress for individuals in this group even in the dry season when natural food resources are limited (Pinha et al., 2004; Pinha, 2007; Sacramento, 2014).

In the bearded capuchin study group, agonistic interactions between group members intensified in the pool area where visitors are often present and anthropogenic foods were

offered by or stolen from visitors. These foods, rich in sugar and high in calories, are highly attractive to primates, thereby encouraging competition between individuals (Pinha, 2007; Sacramento, 2014). Studies have shown that primates that live in disturbed areas may present higher GC levels where anthropogenic disturbances are the predominant feature (Kaisin et al., 2021). The presence of humans can therefore have a negative effect on physical and physiological well-being of the primate groups occupying human-frequented areas.

Conclusion

In conclusion, this study demonstrates that human presence and the constant supply of anthropogenic foods contribute to stress among group individuals, as it provokes agonistic interaction between the study group members. Such behavior, as well as the intake of unhealthy and unnatural foods, could lead to various health complications for these animals. Effective conservation measures, such as environmental education and the management (or even prohibition) of anthropogenic food, must therefore be considered to promote the health and well-being of these primates.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.

Acknowledgements

We thank the University of Brasília for providing scholarship to Samara de Albuquerque Teixeira by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). We also thank the Norwegian University of Life Sciences for providing financial support to perform the laboratory analyzes. We are deeply indebted to all volunteers who helped with fieldwork, and to all employees at the Brasilia National Park. We are also thankful for the Laboratório de Pesquisas Hormonais for carrying out the cortisol analyzes. Thank you to Douglas Maciel and Bruno Melati for the indispensable work on statistical analyzes that were fundamental for the preparation of this paper.

Ethics Statement

Data collection at Brasilia National Park (BNP) was carried out under permissions from Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (permission n° 67127-3) and from the Animal Ethical Committee of the University of Brasilia (permission n° 23106.146334/2018-83).

References

- Abbott, D. H., Keverne, E. B., Bercovitch, F. B., Shively, C. A., Mendoza, S. P., Saltzman, W., Snowdon, C. T., Ziegler, T. E., Banjevic, M., Garland, T., & Sapolsky, R. M. (2003). Are subordinates always stressed? A comparative analysis of rank differences in cortisol levels among primates. *Horm Behav.* 43, 67–82.
- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49, 227–267. doi: <https://doi.org/10.1163/156853974x00534>
- Aureli, F. & van Schaik, C. P. (1991). Post-conflict behaviour in long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*): II. Coping with uncertainty. *Ethology*, 89, 101–114.
- Aureli, F., van Schaik, C. P. & van Hooff, J. A. R. A. M. (1989). Functional aspects of reconciliation among captive long-tailed macaques (*Macaca fascicularis*). *American Journal of Primatology*, 19, 39–51.
- Back, J. P., Suzin, A., & Aguiar, L. M. (2019). Activity budget and social behavior of urban capuchin monkeys, *Sapajus* sp.(Primates: Cebidae). *Zoologia (Curitiba)*, 36.
- Benítez, M. E., Brosnan, S. F., & Fragaszy, D. M. (2021). Behavioral biology of capuchin monkeys. In *Behavioral Biology of Laboratory Animals* (pp. 421-436). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429019517>
- Bernstein, I. S. (1976). Dominance, aggression and reproduction in primate societies. *Journal of theoretical biology*, 60(2), 459-472. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(76\)90072-2](https://doi.org/10.1016/0022-5193(76)90072-2)
- Broom, D. M, & Molento, C. F. M. (2004). Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas – revisão. *Archives of Veterinary Science*, 9(2), 1-11.
- Carnegie, S. D., Fedigan, L. M., & Ziegler, T. E. (2011). Social and environmental factors affecting fecal glucocorticoids in wild, female white-faced capuchins (*Cebus capucinus*). *American Journal of Primatology*, 73(9), 861-869. <https://doi.org/10.1002/ajp.20954>
- Clutton-Brock, T. H., & Huchard, E. (2013). Social competition and selection in males and females. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1631), 20130074. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0074>

- Das, M., Penke, Z. & van Hooff, J. A. R. A. M. (1998). Postconflict affiliation and stress-related behaviour of long-tailed macaque aggressors. *International Journal of Primatology*, 19, 53–71.
- David, H. A. (1963). *The method of paired comparisons* (Vol. 12, p. 120). London.
- Davis, A. K., Maney, D. L., & Maerz, J. C. (2008). The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Functional Ecology*, 22, 760–772.
- de Albuquerque Teixeira, S., Souza-Alves, J. P., Bezerra de Melo, R., Henriques Tavares, M. C., & Haugaasen, T. (2024). Diet and seed dispersal of bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) in Brasilia National Park. *American Journal of Primatology*, e23665. <https://doi.org/10.1002/ajp.23665>
- Di Bitetti, M. S. (1997). Evidence for an important social role of allogrooming in a platyrrhine primate. *Animal behaviour*, 54(1), 199-211.
- Drews, C. (1993). The concept and definition of dominance in animal behaviour. *Behaviour*, (125), 283-313.
- Ferreira, R. G., Mendl, M., Wagner, P. G. C., Araujo, T., Nunes, D., & Mafra, A. L. (2016). Coping strategies in captive capuchin monkeys (*Sapajus* spp.). *Applied Animal Behaviour Science*, 176, 120-127.
- Fraser, O. N., Koski, S. E., Wittig, R. M., & Aureli, F. (2009). Why are bystanders friendly to recipients of aggression? *Communicative & Integrative Biology*, 2(3), 285-291.
- Goymann, W., & Wingfield, J. C. (2004). Allostatic load, social status and stress hormones: the costs of social status matter. *Animal Behaviour*, (67), 591–602.
- Izar, P. (2004). Female social relationships of *Cebus apella nigrinus* in a southeastern Atlantic Forest: an analysis through ecological models of primate social evolution. *Behaviour*, 141(1), 71-99.
- Kaisin, O., Fuzessy, L., Poncin, P., Brotcorne, F., & Culot, L. (2021). A meta-analysis of anthropogenic impacts on physiological stress in wild primates. *Conservation Biology*, 35(1), 101-114. <https://doi.org/10.1111/cobi.13656>
- Keay, J. M., Singh, J., Gaunt, M. C., & Kaur, T. (2006). Fecal Glucocorticoids and their Metabolites as Indicators of Stress in various Mammalian species: A Literature Review. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 37(3), 234-244.
- Kriegsfeld, L. J., & Silver, R. (2006). The regulation of neuroendocrine function: timing is everything. *Hormones and behavior*, 49(5), 557-574.
- Madliger, C. L., & Love, O. P. (2014). The need for a predictive, context-dependent approach to the application of stress hormones in conservation. *Conservation Biology*, 28(1), 283-287.

- Maestriperieri, D., Schino, G., Aureli, F. & Troisi, A. (1992). A modest proposal: displacement activities as an indicator of emotions in primates. *Animal Behaviour*, 44, 967–979.
- Mendonça-Furtado, O. (2012). Medidas de metabólitos de cortisol em macacos-prego (Gênero *Sapajus*): análise comparativa entre populações para investigação de fatores estressores. (Tese de doutorado em Psicologia Experimental) – Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Mendonça-Furtado, O., Edaes, M., Palme, R., Rodrigues, A., Siqueira, J., & Izar, P. (2014). Does hierarchy stability influence testosterone and cortisol levels of bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) adult males? A comparison between two wild groups. *Behav. Proc.*, (109), 79–88.
- Moreira, C. M. (2010). Análise endócrino-comportamental dos macacos-prego (*Cebus nigritus*) que habitam o Parque Estadual Carlos Botelho (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo).
- Möstl, E., & Palme, R. (2002). Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology*, (23), 67–74.
- Muller, M. N., & Wrangham, R. W. (2004). Dominance, cortisol and stress in wild chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 55, 332-340. <https://doi.org/10.1007/s00265-003-0713-1>
- Oliveira, L. C., & Dietz, J. M. (2011). Predation risk and the interspecific association of two Brazilian Atlantic forest primates in Cabruca agroforest. *American Journal of Primatology*, 73(9), 852-860.
- Oliveira-Filho A. T., & Ratter J. A. (2002). Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: P. S. Oliveira, R. J. Marquis (Eds), *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press, New York, USA, 91–120.
- Palme, R. (2005). Measuring fecal steroids: guidelines for practical application. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1046(1), 75-80.
- Pinha, P. S., Waga, I. C., Sabbatini, G., & Tavares, M. C. H. (2004). Comportamento alimentar de um grupo de macacos-prego (*Cebus apella*) no Parque Nacional de Brasília. Em: XXII Encontro Anual de Etologia – Comportamento e Desenvolvimento Sustentável. Anais.
- Pinha, P. S. (2007). Interações sociais em grupos de macacos-prego (*Cebus libidinosus*) no Parque Nacional de Brasília. (Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília).
- Pomerantz, O., Meiri, S., & Terkel, J. (2013). Socio-ecological factors correlate with levels of stereotypic behavior in zoo-housed primate. *Behavioral Processes*, (98), 85–91.
- Rangel-Negrin, A., Alfaro, J. L., Valdez, R. A., Romano, M. C., & Serio-Silva, J. C. (2009). Stress in Yucatan spider monkeys: effects of environmental conditions on fecal cortisol levels in wild and captive populations. *Animal Conservation*, 12, 496–502.

- R Development Core Team. (2018). A Language and Environment for Statistical Computing. Version 3.5.2. *R Foundation for Statistical Computing*. Available at: [Crossdating in dplR \(microsoft.com\)](https://www.crossdat.com/dplR/microsoft.com)
- Romero, L. M. (2004). Physiological stress in ecology: lessons from biomedical research. *Trends in Ecology and Evolution*, 19(5), 249-255.
- Sabbatini, G., Stammati, M., Tavares, M. C. H. & Visalberghi, E. (2008). Behavioral flexibility of a group of bearded capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) in the National Park of Brasília (Brazil): consequences of cohabitation with visitors. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 685-693.
- Sacramento, T. S. (2014). Influência da disponibilidade de alimentos sobre os comportamentos de um grupo de *Sapajus libidinosus* e análise das interações e conflitos entre humanos e macacos-prego no Parque Nacional de Brasília, DF. (Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília).
- Sapolsky, R. M. (1990). Stress in the Wild. *Scientific American*, (262), 106-113.
- Sapolsky, R. M. (2002). Endocrinology of the stress-response. In J. B. Becker, S. M. Breedlove, D. Crews, & M. M. McCarthy (Eds.), *Behavioral endocrinology* (pp.409-450). Cambridge, MA, US: MIT Press.
- Sapolsky, R. M. (2005). The influence of social hierarchy on primate health. *Science* (308), 648–652.
- Stetz, J., Hunt, K., Kendall, K. C., & Wasser, S. K. (2013). Effects of Exposure, Diet, and thermoregulation on Fecal Glucocorticoid Measures in Wild Bears. *PLoS one*, 8(2), e55967.
- Torres-Farfan, C., Valenzuela, F. J., Ebersperger, R., Méndez, N., Campino, C., Richter, H. G., ... & Serón-Ferré, M. (2008). Circadian cortisol secretion and circadian adrenal responses to ACTH are maintained in dexamethasone suppressed capuchin monkeys (*Cebus apella*). *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society of Primatologists*, 70(1), 93-100. <https://doi.org/10.1002/ajp.20461>
- Torrice, R. F. (2023). Comportamento, hormônios fecais e condição energética: uma avaliação sobre como micos-leões- da-cara-dourada lidam com florestas degradadas– Ilhéus, BA: (Tese de doutorado, Universidade Estadual de Santa Cruz).
- Whitehead, H. (2009). SOCPROG programs: analysing animal social structures. *Behav Ecol Sociobiol*, 63, 765–778. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00265-008-0697-y>

Supporting Information

Table S1. Ethogram of non-social behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Behavior	Description
Move	Individual moves by walking and/or jumping, going up or down the substrate, using two or four legs.
Stop	Individual standing still without carrying out any activity simultaneously, in a sitting or standing position, but attentive to the environment.
Rest	Relaxed individual without performing any activity in a lying position and, generally, with eyes closed.
Feed	Individual manipulates, takes food to mouth, chews, and/or swallows food.
Forage	Individual manually and/or visually inspects the substrate looking for food, without ingestion.

Table S2. Ethogram of self-directed behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Behavior	Description
Selfgroom	Individual inspects own fur with hands, mouth, tongue and/or teeth, removing dirt and ectoparasites.
Scratch	Individual uses hands to rub any part of the body.
Body shake	Individual shakes body viciously.
Yawn	Individual inhales air through the mouth, opening it in an involuntary process.

Table S3. Ethogram of affiliative behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Behavior	Description
Social play	Individual entertains and/or interacts with one or more individuals from the same group.
Receive grooming	Individual receives inspection of their own fur by another individual.
Give grooming	Individual performs inspection of another individual's fur, removing dirt and ectoparasites with hands, tongue and/or teeth.
Share food	Individual shares food items with one or more individuals.

Table S4. Ethogram of submissive behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Behavior	Description
Submissive grin	Lips separated and corners of the mouth down-turned.
Open mouth grin	Individual shows teeth with mouth half-open, usually emitting loud sounds.
Flee	Individual runs towards the monkey(s), or in the opposite direction (running away).
Screech	Individual emits high-volume sounds while looking at the monkeys.
Scalp lift	Individual raises eyebrows and addresses another individual.
Move away	Individual increases distance in relation to another monkey.

Table S5. Ethogram of dominance behaviors of bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*).

Behavior	Description
Mount	Individual hugs the other from behind, without penetration.
Branch shake	Individual uses arms and body to shake tree trunks aggressively.
Threat	Individual moves his body aggressively, showing attack and intention to scare away another monkey.
Hit	Individual uses one or both of its front paws to hit or push another monkey.
Supplant	Individual addresses another monkey sitting, taking his place by making the monkey move away.

ESTUDO 2

Diet and Seed dispersal of Bearded Capuchin Monkeys
(*Sapajus libidinosus*) in Brasilia National Park

Este estudo foi publicado no periódico *American Journal of Primatology* e está redigido de acordo com as normas de formatação da revista.

Diet and Seed dispersal of Bearded Capuchin Monkeys (*Sapajus libidinosus*) in Brasília National Park

Samara de Albuquerque Teixeira^{1*}, João Pedro Souza-Alves², Risolândia Bezerra de Melo¹, Maria Clotilde Henriques Tavares¹, Torbjørn Haugaasen³

¹ Instituto de Biologia, CFS, Bloco G, 1º andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 70910-900, Brazil

² Laboratório de Ecologia, Comportamento e Conservação, Centro de Biociências, Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco, 50740-600, Recife, Brazil

³ Norwegian University of Life Sciences, Faculty of Environmental Sciences and Natural Resource Management, 1432 Ås, Norway

*Corresponding author at: Instituto de Biologia, CFS, Bloco G, 1º andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 70910-900, Brazil.

E-mail address: biologia.samara@gmail.com (Samara de A. Teixeira).

Abstract

The dietary ecology of a species can provide information on habitat requirements, food resources, and trophic interactions, important to guide conservation efforts of wildlife populations in endangered habitats. In this study, we investigated the dietary ecology of bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) in Brasilia National Park, in the endangered Cerrado biome of central Brazil. To obtain diet composition and evaluate the role of these primates as seed dispersers of local tree species, fecal sample collections and feeding observations were performed for a 7-month period. To determine whether seeds germinated better after passing through a primate gut, we conducted germination trials with (i) pulped seeds from trees, (ii) depulped seeds from trees, (iii) seeds from feces planted with feces, and (iv) seeds from feces planted without feces. During experimental procedures, 7308 seeds from 8 families and 10 species were planted. We found that *S. libidinosus* spent more time feeding on fruits than on any other food item and the diet consisted of 33 plant species from 21 families. However, 20% of their diet consisted of anthropic food. Most seeds planted with feces germinated faster compared to seeds in other experimental treatments, suggesting that passing through the gut and being deposited with fecal material is advantageous. The bearded capuchins also defecated many medium- (5 species) and large-sized (2 species) seeds that may be inaccessible to smaller arboreal frugivores. The results obtained emphasize the important role of bearded capuchins as seed dispersers for the maintenance and conservation of the endangered Cerrado biome.

Keywords: fecal samples, primate diet, *Sapajus libidinosus*, seed dispersal, seed germination.

Abbreviations: BNP, Brasilia National Park; COVID, coronavirus disease; GPS, Global Positioning System; ICMBio, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; *N*, global sample size; UnB, University of Brasilia.

1. Introduction

Interactions between plants and animals are important for forest regeneration and the maintenance of biodiversity (Andresen et al., 2018). Approximately 90% of plant species depend on animals for their reproduction, where animals play a role in aspects such as seed dispersal and pollination (Jordano, 2010). Several plant species produce fruits with edible parts that attract frugivorous animals. These fruits provide a source of nutrition for these animals, while plants have their seeds carried away from the mother plant, increasing the probability of recruitment (Howe & Miriti, 2004). Seed dispersal by frugivorous animals is, therefore, a fundamental process in plant population dynamics (Gestich et al., 2019; Russo & Chapman, 2011).

In tropical forests, primates comprise a key group of seed dispersers important for the regeneration, maintenance, and overall functioning of these ecosystems (Bufalo et al., 2016; Link & Di Fiore, 2006). They represent a significant percentage of the frugivore biomass (Chapman, 1995; Haugaasen & Peres, 2005; Terborgh, 1992) and several species rely mainly on fruits (Chapman & Russo, 2007). The last few decades have been marked by an increasing number of studies on primate seed dispersal and highlighting its importance (Chapman, 1995; Lambert, 2010). In fact, over 380 primate species around the world are now known to consume fruits and disperse (or prey on) seeds (Gómez & Verdú, 2012), frequently defecating large numbers of seeds from a vast array of plant species (Bueno et al., 2013; Julliot, 1997; Lambert, 1999; Stevenson, 2007).

The reduction or local extinction of frugivorous primates, resulting from hunting and habitat loss, may therefore greatly affect these key interactions (Chanthorn et al., 2017; Fricke et al., 2017). This is particularly acute for many large-seeded plant species that rely heavily (or exclusively) on dispersal services by large-bodied seed dispersers (Beck et al., 2013; Gardner et al., 2019; Peres & Van Roosmalen, 2002; Stevenson, 2011). Without their seed dispersers, these species will experience recruitment failure that subsequently has a cascade effect on forest structure and composition (Queenborough et al., 2009; Slik, 2005; Terborgh et al., 2008; Wright et al., 2007). However, where such seed dispersers persist in fragmented tropical forest landscapes, they may serve as important vectors for restoration and facilitate gene flow between forest fragments (Duncan & Chapman, 2002; Schupp et al., 2010).

The Cerrado is considered a global biodiversity hotspot (Myers et al., 2000) due to its high levels of biodiversity and endemism. This biome has suffered severe loss of native forest areas and the remaining forests are highly fragmented (Vieira-Alencar et al., 2023). Yet, the

Cerrado is home to a diverse large vertebrate community, including tapirs, peccaries, brocket deer, and 15 different species of primates. The primate community is dominated by small-bodied species (genera *Aotus*, *Callithrix*, *Mico*, and *Callicebus*) and only four species of capuchin monkeys (*Sapajus cay*, Illiger 1815; *Sapajus xanthosternos*, Wied-Neuwied 1826; *Sapajus nigritus*, Goldfuss 1809; *Sapajus libidinosus*, Spix 1823) (Rylands & Mittermeier, 2009), and howler monkeys (*Alouatta belzebul*, Linnaeus, 1766; *Alouatta caraya*, Humboldt 1812; *Alouatta guariba*, Humboldt 1812; *Alouatta ululata*, Elliot 1912) can be classed as medium- to large- sized—and thus potential dispersers of larger-sized seeds.

Of these, *Alouatta* are largely folivorous (Hirsch et al., 2002) but contribute to seed dispersal across their range (Amato & Estrada, 2010; Julliot, 1994; Moura & McConkey, 2007). However, they are known for having long resting periods and usually defecate in latrines located under the sleeping trees (*Alouatta seniculus puruensis*: Andresen, 1999; *Alouatta seniculus*: Giraldo et al., 2007; *Alouatta palliata*: Wehncke et al., 2004). Some authors, therefore, consider howler monkeys low-quality dispersers (Bravo, 2009; Howe, 1980; Wehncke et al., 2004), although this remains contentious as their feces attract secondary seed dispersers such as dung beetles (Arroyo-Rodríguez et al., 2015; Estrada & Coates-Estrada, 1991). Capuchin monkeys (*Sapajus* spp.) are a ubiquitous member of primate communities across several Neotropical forest biomes. Their feeding habits are generalist, and they have wide behavioral and ecological flexibility to exploit different types of food items (Galetti & Pedroni, 1994; Hawes & Peres, 2014). Diet composition may consist of plant parts (e.g. fruits, leaves, seeds, sap), invertebrates, and even small vertebrates (Fragaszy et al., 2004; Ludwig et al., 2005; Mikich & Silva, 2001). However, fruits often constitute most of their diet (Galetti & Pedroni, 1994) and they are recognized as important seed dispersers in several Neotropical regions (Fragaszy et al., 2004; Galetti & Pedroni, 1994; Gonçalves et al., 2022; Moura & McConkey, 2007; Valenta & Fedigan, 2010; Wehncke et al., 2004). Their behavioral flexibility therefore suggests that capuchins may be particularly important for seed dispersal and plant recruitment in areas affected by habitat loss, fragmentation, and other anthropogenic disturbances (Canale et al., 2016). However, there are currently no seed dispersal studies related to bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*) in the Cerrado biome, and very little is known about the diet of this species in general (Rasec-Silva et al., 2023). Few studies have also determined the germination success of seeds passing through the gut of these medium-sized primates.

In this study, we investigate the role of bearded capuchins as seed dispersers in the Cerrado. More specifically, we use feeding observations, fecal analyses, and seed germination trials to understand diet composition, quantify the number of seeds in their feces, and compare germination time and success between ingested seeds and fresh seeds obtained directly from trees. We hypothesize that seed germination time is shorter and germination success higher among seeds from feces compared to seeds from fresh fruits. Our study provides important information for the potential role of bearded capuchin monkeys in dispersing seeds. It may also help to elucidate what conservation efforts should be taken for the protection of the species and the biome by revealing the diet composition of this primate species and identifying the plant species with which it interacts.

2. Methods

2.1. Study area

The present study was conducted within Brasília National Park (BNP) (15° 38' 28" South, 48° 1' 15" West), which is a protected area of ~42,500 ha inserted in an urban matrix (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade [ICMBio], 2021; Figure 1). The park is located in the North-West corner of the Federal District, Brazil, approximately 10 km from Brasília city center. It is open to public visitation and contains two natural pools of water that are frequented by the general public. In fact, BNP is one of the most frequented protected areas in Brazil and 251,000 visitors were registered visiting the park in 2019 (ICMBio, 2021). The forest areas surrounding the pools are part of bearded capuchin monkey territory and, very often, there are interactions between humans and these primates (Supporting Information S1: Figure 1).

The study site is characterized by gallery forests and Cerrado *sensu stricto* (Bispo et al., 2010). The local fauna is diverse and abundant, with several threatened and rare species present, such as giant armadillo (*Priodontes maximus*), ocelot (*Leopardus pardalis*), giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*), and maned wolf (*Chrysocyon brachyurus*) (ICMBio, 2021). However, only three primate species are present in the BNP (*S. libidinosus*, Spix 1823; *Callithrix penicillata*, É. Geoffroy Saint-Hilaire 1812; *A. caraya*, Humboldt 1812) (dos Reis et al., 2015). The region has a well-defined seasonal climate with dry, cold winters (May to September) and rainy summers (October to April) (Oliveira-Filho & Ratter, 2002).

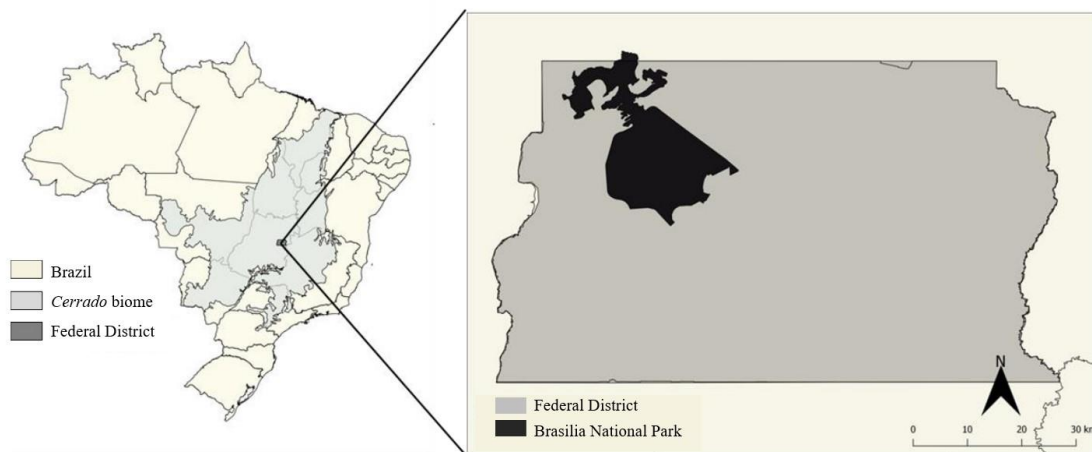


Figure 1. Map of Brazil with the location of the Cerrado biome (light grey area) and the Federal District. Brasilia National Park (black polygon) is located in the north-west corner of the Federal District.

2.2. Data collection

This study is based on observations from a group of bearded capuchins occupying the gallery forests surrounding the pools in BNP. The studied group initially consisted of nine individuals, but on December 29, 2019, a tenth member was born. The study group was then composed of one alpha-male, one adult male, two adult females, one subadult male, one subadult female, three juveniles, and an infant. To assess bearded capuchin diet and seed dispersal, data collection consisted of systematic monitoring of the group from dawn (7:00 a.m.) till dusk (5:00 p.m.) four times a week (totaling 75 complete days of monitoring). These observations began in August 2019 and ended in March 2020 (when the park closed due to the coronavirus disease [COVID-19] pandemic).

Data on diet were collected from all individuals, except the infant (global sample size $[N] = 9$), using the *ad libitum* method (Altmann, 1974). These observations were performed randomly for all individuals, depending on the location of the animal within the observer's visual range. We recorded all the food items eaten by bearded capuchins and the food items were categorized as fruits, leaves (including stems, nodes, and petioles), flowers, exudates, invertebrates, vertebrates, and anthropic food (offered or stolen from visitors). We recorded and identified all plant species exploited by bearded capuchins. Some plant individuals were previously identified in the study area. However, individuals that were unidentified were marked with a colored tape and had their location georeferenced using a handheld Global

Positioning System (GPS) unit (Garmin GPSMAP 64s). Photographs of the leaves, fruit, and trunk were taken for later identification.

When any individual bearded capuchin was seen defecating, we immediately collected the feces on the ground or on surrounding vegetation. We stored the fecal samples in plastic zip lock bags marked with individual identification, date, GPS location, and time of collection. Following Ballesteros et al. (2019) and Umarani et al. (2015), the feces collected during each week were stored in a refrigerator at 5°C until the end of the week (when the samples were checked for seeds), to avoid early deterioration of seeds due to high temperatures and humidity.

2.3. Seed processing

A total of 139 fecal samples were collected and examined during the study period; 65 samples from adult individuals and 62 samples from juveniles and subadults. Twelve fecal samples were from an unidentified source. We counted all seeds from each fecal sample (except for *Piper aduncum* as these seeds are tiny ($\sim 0.84 \pm 0.03$ mm) and occur in the thousands) and identified them. Seeds were identified by a botanist (R. B. M.) and using the field guide “Cerrado fruits and seeds—Volume 1” (Kuhlmann & Fagg, 2012). The dispersal mode of every plant species was described according to the literature (de Souza et al., 2022). We also inspected seeds for damage and recorded it when observed. Furthermore, we measured and weighed at least 30 seeds (when available) for each plant species. All measured seeds were washed in a stainless-steel sieve until the water was clear. After the seeds were washed and cleaned of feces, they were dried with absorbent paper towels and then weighed. To determine the seed size, we measured the longest dimension of the seeds (following Bufalo et al., 2016). They were measured using a digital caliper (Mitutoyo Digimatic Caliper 150 mm) and weighed on a high-precision scale (Marte, Series AY, Model Shimadzu AY220). Seed processing was performed at the Laboratory of Neuroscience and Behavior at the University of Brasilia (UnB).

2.4. Seed germination trials

After the seeds were processed, we allocated them in plastic trays containing 50 wells (5 cm in diameter and 7 cm in depth) with BioPlant Plus, a substrate appropriate for plants (Plus & Mix, 2012), in the greenhouses at the Biology Experimental Station at UnB (Supporting Information S1: Figure 2). These greenhouses are screened with glass and plastic. However,

they are not enclosed and are thus naturally aerated, and the temperature and humidity are not controlled.

Each seed was classified and separated according to its size; for seeds less than 5 mm (small-sized), three seeds or more were planted per well; from 5 to 10 mm (medium-sized), two seeds were planted per well; and for more than 10 mm (large-sized), only one seed was planted per well (see Table 2). We gently pushed the seeds to approximately 1 cm into the substrate. We numbered all wells, the planting date, identified the species, and, subsequently, the germination date. When multiple seeds were planted in the same well, the seeds were of the same species and from the same fecal sample.

To assess the germinability of seeds deposited by bearded capuchins, we established four germination trials. Two of these were control treatments: (i) pulped seeds from trees and (ii) depulped seeds from trees, and two were experimental treatments: (iii) seeds found in the feces with feces and (iv) seeds found in the feces that were washed and planted without feces. For control treatments (i) and (ii), we collected the seeds directly from fruits from at least three different trees. These trees were at least 500 m apart to obtain independence between samples (Stevenson et al., 2002). We collected at least 30 fruits per tree, including multiseeded fruits, to obtain the mean size and weight of seeds from trees and from fecal samples. We washed and removed the fruit exocarp and/or pulp around the seeds by hand for treatment (ii). We randomly chose fecal samples from the selection collected for the week to be planted for treatments (iii) and (iv). Consequently, some seed species were absent in certain treatments (e.g., *Inga nobilis* in treatment (iii), and *Lithraea molleoides* and *Myrcia splendens* in treatment (iv)). Due to the presence of fecal matter, seeds of treatment (iii) were not measured or weighed. Removing fecal matter and depositing seeds back into the sample may influence germination success, hence, we chose not to remove feces from seeds for treatment (iii). Therefore, no data of weight and size for *I. nobilis* was registered. Planted seeds and emerging plants were checked every other day until death occurred or the germination trials ended (after 300 days). We terminated the germination trials at this point as only one seed germinated after being in soil for more than 150 days.

For control treatments (i) and (ii), we planted 1950 seeds from the same species as treatments (iii) and (iv) for comparison. Unfortunately, it was not possible to establish control treatments for *Virola sebifera* and *P. aduncum* as we were unable to find seeds in the park or the seed size was too small, respectively. We used 30 trays and 1500 wells for treatment tests (treatments (iii) and (iv)) in which 7308 seeds were planted from 8 families and 10 species, all

found in the feces. In treatment (iii), we did not quantify the *P. aduncum* seeds due to the tiny size (<0.5 mm).

2.5. Data analysis

To assess differences in germination frequencies (number of seeds germinating) and germination delay (number of days until germination) between control and experimental treatments, a time-to-event analysis with the Kaplan–Meier estimator was performed. This analysis considers seed germination percentage and the influence of time combined (temporal pattern) (McNair et al., 2012), and each plant species was tested individually. A nonparametric approach was adopted using the Peto-Peto weight function. This methodology was implemented using the “survdiff” function in the “survival” package (Therneau, 2015) and each seed (except *P. aduncum*) of every plant species and treatment was considered a replicate. All analyses were performed using R version 3.5.2 (R Development Core Team, 2018).

2.6. Ethical Approval

Data collection at Brasília National Park (BNP) was carried out under permissions from Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (permission nº 67127-3) and from the Animal Ethical Committee of the University of Brasília (permission nº 23106.146334/2018-83).

3. Results

3.1. Bearded capuchin diet

A total of 265 *ad libitum* feeding records were obtained and more than half involved the consumption of fruit ($N = 144$, 55%). Food items provisioned by humans such as cake, biscuits, exotic fruits, soft drinks, and chips were the second most commonly consumed items ($N = 53$, 20%). Other dietary items included leaves ($N = 32$, 12.1%), invertebrates ($N = 16$, 6%), and exudates ($N = 10$, 3.7%). Food items accounting for less than 5% of the *ad libitum* feeding observations included flowers ($N = 6$, 2.3%) and vertebrates ($N = 4$, 1.5%). Adult and immature males accounted for 50% ($N = 132$) of the observed *ad libitum* feeding events, while adult and immature females accounted for 41% ($N = 109$) and a juvenile of unknown sex was responsible for the remainder (9%, $N = 24$). Forty-one percent ($N = 109$) of these feeding events were performed by adult individuals (males and females) and 59% ($N = 156$) by subadults and

juveniles. Based on our ad libitum observations, we recorded the capuchins feeding on a total of 33 plant species from 21 different families during our study period. Most ($N = 29$; 88%) plant species consumed were classed as zoochoric and only four species (12%) were anemochoric (Table 1).

A total of 33 plant species from 21 different families were exploited by the bearded capuchin monkeys during study period. Most ($N = 29$; 88%) plant species consumed were classed as zoochoric and only four species (12%) were anemochoric (Table 1).

Table 1

Plant families and species observed in the diet of bearded capuchin monkeys in Brasilia National Park and the plant part(s) consumed.

Family	Species	Part(s) consumed	Dispersal mode
Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i> *	Aril/seed	Zoochoric
	<i>Mangifera indica</i>	Fruit	Zoochoric
	<i>Tapirira guianensis</i> *	Fruit	Zoochoric
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i>	Fruit	Zoochoric
	<i>Mauritia flexuosa</i>	Endocarp	Zoochoric
Bromeliaceae	<i>Bromelia balansae</i>	Fruit	Zoochoric
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> *	Aril/seed	Zoochoric
Clusiaceae	<i>Calophyllum brasiliensis</i>	Fruit	Zoochoric
Cucurbitaceae	<i>Gurania spinulosa</i>	Fruit	Zoochoric
Ebenaceae	<i>Diospyros hispida</i>	Fruit	Zoochoric
Fabaceae	<i>Bauhinia</i> sp.	Flower; Fruit	Anemochoric
	<i>Inga nobilis</i> *	Aril/seed	Zoochoric
	<i>Inga sessilis</i>	Aril/seed	Zoochoric
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i>	Seed	Anemochoric
Lythraceae	<i>Lafoensia pacari</i>	Fruit	Zoochoric

Magnoliaceae	<i>Magnolia ovate</i>	Fruit	Zoochoric
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	Flower/Seed	Anemochoric
	<i>Pseudobombax tomentosum</i>	Fruit	Anemochoric
Melastomataceae	<i>Miconia fallax</i> *	Fruit	Zoochoric
Moraceae	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Fruit	Zoochoric
	<i>Ficus adhatodifolia</i>	Fruit	Zoochoric
Myrsinaceae	<i>Rapanea ferruginea</i> *	Fruit	Zoochoric
Myrtaceae	<i>Eugenia lineatifolia</i>	Fruit	Zoochoric
	<i>Myrcia laruotteana</i>	Fruit	Zoochoric
	<i>Myrcia splendens</i> *	Fruit	Zoochoric
	<i>Psidium guajava</i>	Fruit	Zoochoric
	<i>Syzygium cumini</i>	Fruit	Zoochoric
	<i>Virola sebifera</i> *	Fruit	Zoochoric
Piperaceae	<i>Piper aduncum</i> *	Fruit	Zoochoric
Rhamnaceae	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> *	Fruit	Zoochoric
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Fruit	Zoochoric
Sapindaceae	<i>Matayba guianensis</i>	Fruit	Zoochoric
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i>	Endocarp	Zoochoric

* Species used in germination trials.

3.2. Characteristics of dispersed seeds

In total, 7308 seeds from 8 families and 10 species were found in the 139 bearded capuchin fecal samples collected. The seed count does not include the extremely small *P. aduncum* seeds that were found in the thousands and thus not counted. Of the counted seeds, seeds of *Protium heptaphyllum* ($N = 1516$ seeds; 20%) and *Tapirira guianensis* ($N = 533$ seeds; 7%) were most abundant. Seeds from five species were classed as medium-sized, three were small-sized and two were large-sized (Table 2). The fruit with the largest sized seed that

capuchin monkeys fed on is from *Inga nobilis* with approximately 17 mm in length, weighing ~1 g, and the smallest seed is from *P. aduncum* with <1 mm in length and weighing <0.01 g (Table 2). Nine fecal samples (6.5% of the total number of samples) did not contain seeds, only fibers from fruits, leaves, stems, and flowers. Less than 1% of seeds found in their feces were damaged or broken.

Table 2

Mean size (mm) and weight (g) (\pm standard deviation, SD) of the seeds collected from trees and found in the fecal samples of bearded capuchins.

Plant species	Seed class	Trees		Fecal samples	
		Mean seed size \pm SD	Mean seed weight \pm SD	Mean seed size \pm SD	Mean seed weight \pm SD
<i>I. nobilis</i>	Large	17.22 \pm 1.57	1.05 \pm 0.19	-	-
<i>L. molleoides</i>	Medium	5.55 \pm 0.43	0.02 \pm 0.003	5.94 \pm 0.4	0.06 \pm 0.01
<i>M. fallax</i>	Small	1.10 \pm 0.12	< 0.01 \pm 0.001	1.76 \pm 0.22	0.01 \pm 0.01
<i>M. splendens</i>	Medium	7.12 \pm 0.66	0.08 \pm 0.01	-	-
<i>P. aduncum</i> ^a	Small	0.84 \pm 0.03	0.00021	< 1	< 0.01
<i>P. heptaphyllum</i>	Medium	11.12 \pm 0.79	0.10 \pm 0.03	9.46 \pm 0.87	0.09 \pm 0.03
<i>R. ferruginea</i>	Small	3.06 \pm 0.25	0.02 \pm 0.003	4.05 \pm 0.43	0.02 \pm 0.005
<i>R. elaeocarpum</i>	Medium	8.65 \pm 0.5	0.13 \pm 0.03	8.47 \pm 0.45	0.17 \pm 0.03
<i>T. guianensis</i>	Medium	7.79 \pm 0.4	0.08 \pm 0.008	6.68 \pm 0.42	0.07 \pm 0.008
<i>V. sebifera</i> ^a	Large	14.17 \pm 3.6	0.54 \pm 0,1	16.32 \pm 0.03	0.22 \pm 0.13

Note: The seed class represents seeds found in feces.

^a Mean size and weight of seeds from trees were obtained from Peres (2011).

3.3. Seed germination

Overall, only 16% ($N = 1177$ seeds) of seeds having passed through a primate gut germinated. However, seeds from every species found in feces ($N = 10$ species) germinated. Overall germination success for control treatments (fresh seeds) was 13% ($N = 247$ seeds)

(Table 3). Seeds planted with feces germinated faster than in the other treatments for seven of the nine plant species (Table 3). Forty-five seeds (61%) of *Rhamnidium elaeocarpum* germinated simultaneously for treatment with seeds in feces after just 4 days. This was the fastest germination of all species in the trials independent of treatment. Although we were not able to quantify the number of replicates for *M. splendens* in treatment iii, this plant species germinated on average within a week of being planted in feces, and this was very different to the other treatments (Table 3). The longest mean germination times were seen for *Rapanea ferruginea* and *Miconia fallax*. In fact, no seeds of the latter species germinated having been through a primate gut and then planted without feces.

Table 3. Temporal pattern of seed germination of 10 plant species consumed by *Sapajus libidinosus*.

Plant species	Chi-squared test with Kaplan–Meier estimator	Treatment	Replicates (N)	Germination (%)	Mean germination delay (min – max)
<i>I. nobilis</i>	2	With feces	8	50	22.7 (10-31)
		Without feces	Not found	-	-
		With pulp	20	30	14.2 (8-25)
		Depulped	20	50	12.1 (8-27)
<i>L. molleoides</i>	22.2*	With feces	-	-	72
		Without feces	36	16.7	28 (5-54)
		With pulp	50	2	66
		Depulped	50	4	76 (47-105)
<i>M. fallax</i>	28.8*	With feces	13	38.5	27.5 (6-47)
		Without feces	17	No germination	No germination
		With pulp	100	7	87.9 (31-146)
		Depulped	100	20	55.5 (29-106)
<i>M. splendens</i>	193*	With feces	-	-	5.5 (4-12)
		Without feces	41	17.1	31 (7-100)

		With pulp	50	12	76.3 (13-291)
		Depulped	50	6	88 (55-115)
<i>P. aduncum</i>	36.2*	With feces	Thousands	-	18.4 (6-56)
		Without feces	Thousands	-	24.3 (6-87)
		With pulp	-	-	-
		Depulped	-	-	-
<i>P. heptaphyllum</i>	69.3*	With feces	759	9.6	17 (6-47)
		Without feces	757	37.4	19 7-68)
		With pulp	25	16	21.5 (17-23)
		Depulped	25	32	35.1 (14-102)
<i>R. ferruginea</i>	4.2	With feces	6	83.3	96.8 (82-105)
		Without feces	56	41.1	64.8 (31-89)
		With pulp	75	81.3	67.7 (52-90)
		Depulped	75	94.6	44.8 (34-64)
<i>R. elaeocarpum</i>	135*	With feces	74	60.8	4
		Without feces	147	26.5	15.7 (10-31)
		With pulp	50	2	32

		Depulped	50	96	26.1 (18-38)
<i>T. guianensis</i>	12.7*	With feces	257	40.4	9.2 (6-13)
		Without feces	276	80.4	10.5 (4-38)
		With pulp	50	34	24.7 (18-41)
		Depulped	50	80	12 (8-25)
<i>V. sebifera</i>	1	With feces	7	28.6	36.5 (10-63)
		Without feces	5	60	41 (39-45)
		With pulp	-	-	-
		Depulped	-	-	-

Note: Total germination (percentage) and mean germination delay (in number of days) of ingested (feces) and fresh (control) seeds.

*Significant values at $p < 0.05$.

4. Discussion

Our findings demonstrate that bearded capuchin monkeys living in a large Cerrado fragment inserted in an urban matrix are able to exploit a variety of food items and emphasize the important role of the bearded capuchins for seed dispersal of local plant species and, potentially, for the maintenance and conservation of this endangered biome.

The diet of the bearded capuchin monkeys (*S. libidinosus*) consisted predominantly of fruits, corroborating previous studies performed with *Sapajus* sp. across different biomes (Fragaszy et al., 2004; Freese & Oppenheimer, 1981; Rasec-Silva et al., 2023; Santos, 2015). Despite the fact that this study only lasted for 7 months due to the interruption of the global COVID-19 pandemic, the plant species richness consumed by bearded capuchin monkeys (33 plant species from 21 families) is proportionally consistent with previous studies for other capuchin populations (Freitas et al., 2008; Galetti & Pedroni, 1994; Gonçalves et al., 2022; Ludwig et al., 2005; Rodrigues, 2013). It is likely that a full year of feeding observations would have increased the number of plant species consumed, as some plants may only fruit at the time of year that the observations missed. Indeed, most of the feeding observations were performed in the wet season and previous studies show that some plant species in the Cerrado fruit during the dry season. However, plant species that fruit in the dry season are largely anemochoric (Batalha & Mantovani, 2000). Extended studies are therefore clearly necessary to fully understand the plant species richness in the diet of bearded capuchins in BNP. Almost 90% of the plant species consumed by *S. libidinosus* at BNP utilizes zoochory as its form of dispersal and all seed species found in the primate feces were zoochorous ($N = 10$). It therefore appears that the capuchins are important frugivore seed dispersers for many plant species in the park and that these depend on frugivores such as primates for germination and recruitment. However, the capuchins also consumed a few anemochorous plants, such as *Cariniana estrellensis* and *Luehea divaricata*. Capuchin monkeys are known for their ability to use tools to access encased food and this ability may be nutritionally advantageous particularly at times of year when fleshy fruits may be less abundant (Spagnoletti et al., 2012). We observed that in these instances they acted as seed predators, which is clearly disadvantageous for the tree species in question.

Although plant parts made up most of the capuchin diet, the contribution of other natural dietary items may be underrepresented due to the ad libitum method of observation used in this study. For example, predation of invertebrates and small vertebrates may be less conspicuous than feeding on fruits. A more standardized sampling scheme may have allowed for a more balanced detection of utilized dietary items. However, 20% of the Capuchin diet consisted of anthropic food items. This is worrying since human- provided food can negatively affect their

health, potentially leading to dental and intestinal diseases, food poisoning, obesity, metabolic disorders, and/or hypertension (Cox & Gaston, 2018). Approaching humans to steal or receive anthropic food also makes them more prone to injuries and can cause dependency, altering their feeding behavior (Valença et al., 2021). The first cases of these interactions at BNP were reported almost 20 years ago (Sabbatini et al., 2006; Sacramento, 2014), but have intensified over the years and the capuchin group used for this study has clearly lost their fear of approaching humans.

This behavior is not exclusive to the primates at BNP. Studies have shown that primates that inhabit urbanized regions and are more exposed to human presence, inevitably feed on human-provisioned food items (Sabbatini et al., 2008; Suzin et al., 2017; Valença et al., 2021). Research on primate groups that consume a large quantity of anthropogenic food should therefore be a priority (Lousa & Mendes, 2022). It is fundamental that we better understand how their diet and feeding behavior are altered due to exposure to human presence, as this may have cascading effects on the number of seeds successfully dispersed and where they are dispersed.

Half (5 of 10) of the species of seeds consumed and dispersed by the primates were classed medium-sized, two were large-sized and three of the species tested were small-sized. Most seeds passed through the capuchin mouth and gut unharmed, suggesting that the capuchins are an important disperser of many plants in the Cerrado. However, only a small percentage of seeds that passed through a primate gut germinated during the germination trials—although seeds from every species ingested germinated. These results suggest that there is only a limited advantage for seeds to pass through the primate digestive system and the chemical and mechanical effects this may have on the seeds. However, keeping the fecal samples at lower temperatures may have affected seed germination (Khurana & Singh, 2001) since tropical plant species do not naturally experience these conditions. In addition, storage time for each sample varied and could have affected germination success in some seeds.

Of the seeds that germinated, seeds planted with capuchin feces germinated faster than seeds from the other treatments for seven of the nine species utilized in the germination trials. Being embedded in dung therefore appears to boost seedling growth, likely due to its fertilizing effects (Cosyns et al., 2005; Traveset et al., 2001). Faster germination was particularly pronounced for *M. splendens* and *R. elaeocarpum*. By separating seeds from the feces and putting them to germinate in our designed trials, we did of course remove potential intra- and interspecific seed competition among seeds deposited in the same feces. However, our results

corroborate previous studies of Neotropical primates in which time to seed germination was accelerated by passing through a frugivore primate gut (Fuzessy et al., 2016, 2018; Stevenson et al., 2000; Wehncke & Dalling, 2005). The faster emergence of seedlings may have a positive effect on plant survival and growth, whereby early emerging seeds will be the first to acquire resources and increase their competitiveness (Arendt, 1997).

In sum, our results suggest that the bearded capuchin is an important seed disperser of Cerrado plants. Of course, BNP also harbors other potential seed dispersers, such as howler monkeys, deer, tapirs, peccaries, and even canids that may contribute to forest regeneration through seed dispersal (Bernardo & Melo, 2013; Hannibal et al., 2019; Reis et al., 2023). However, except for the howler monkey, most of these are unlikely to favor larger-sized seeds and their contribution to seed dispersal in BNP remains undetermined. Our study also suggests that passing through the primate gut may enhance plant fitness. Ominously, bearded capuchin populations are declining due to ongoing habitat loss, and some regions have lost at least 50% of suitable habitat due to deforestation (Vieira-Alencar et al., 2023). As a reduction in primate populations negatively affects the seed dispersal and recruitment of local plant species (Fuzessy et al., 2017), more studies on resident primates as seed dispersers across the Cerrado are therefore clearly needed to better understand their role at larger spatial scales. A better understanding of the effectiveness of the post-dispersal seed fate is also needed. Additionally, to protect the natural seed dispersal service provided by capuchins, we suggest prohibiting visitors from bringing food into BNP or the construction of an enclosed dining area for visitors, precluding the entry of primates. This should be accompanied by environmental education actions to raise awareness of the visitors to BNP of the impacts of negative interactions and consequences of provisioning human food to primates.

Author contributions

Samara de Albuquerque Teixeira: Conceptualization (lead); data curation (lead); formal analysis (lead); funding acquisition (lead); investigation (lead); methodology (lead); project administration (lead); resources (lead); software (lead); supervision (lead); validation (lead); visualization (lead); writing—original draft (lead); writing—review and editing (lead). **João Pedro Souza-Alves:** Formal analysis (Lead); Software (Lead); Supervision (Supporting); Visualization (Supporting). **Risolândia Bezerra de Melo:** Formal analysis (supporting); investigation (supporting); methodology (supporting). **Maria Clotilde Henriques Tavares:** Conceptualization (supporting); supervision (supporting); visualization (supporting). **Torbjørn**

Haugaasen: Conceptualization (equal); formal analysis (equal); methodology (equal); project administration (equal); supervision (lead); validation (equal); visualization (equal); writing—original draft (supporting); writing—review and editing (equal).

Acknowledgements

The authors would like to thank the University of Brasília for providing a scholarship to Samara de Albuquerque Teixeira by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. They are deeply indebted to all volunteers who helped with fieldwork, and to all employees at the Brasilia National Park and the Biology Experimental Station for their assistance. Laurence Culot provided useful information on germination trial design. The authors greatly appreciate the comments from two anonymous reviewers and the review editor Anthony Di Fiore on earlier versions of this manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.

Ethics Statement

Data collection at Brasilia National Park (BNP) was carried out under permissions from Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (permission n° 67127-3) and from the Animal Ethical Committee of the University of Brasilia (permission n° 23106.146334/2018-83).

References

- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49, 227–267. doi: <https://doi.org/10.1163/156853974x00534>
- Amato, K. R., & Estrada, A. (2010). Seed dispersal patterns in two closely related howler monkey species (*Alouatta palliata* and *A. pigra*): a preliminary report of differences in fruit consumption, traveling behavior, and associated dung beetle assemblages. *Neotropical Primates*, 17(2), 59-66. doi: <https://doi.org/10.1896/044.017.0203>

- Andresen, E. (1999). Seed dispersal by monkeys and the fate of dispersed seeds in a Peruvian rain forest 1. *Biotropica*, 31(1), 145-158. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.1999.tb00125.x>
- Andresen, E., Arroyo-Rodríguez, V., & Ramos-Robles, M. (2018). Primate seed dispersal: old and new challenges. *International Journal of Primatology*, 39, 443–465. doi: <https://doi.org/10.1007/s10764-018-0024-z>
- Arendt, J. D. (1997). Adaptive intrinsic growth rates: an integration across taxa. – *Q. Rev. Biol.* 72: 149 – 177. doi: <https://doi.org/10.1086/419764>
- Arroyo-Rodríguez, V., Andresen, E., Bravo, S. P., & Stevenson, P. R. (2015). Seed dispersal by howler monkeys: current knowledge, conservation implications, and future directions. *Howler monkeys: Behavior, ecology, and conservation*, 111-139. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-1960-4_5
- Ballesteros, D., Hill, L. M., Lynch, R. T., Pritchard, H. W., & Walters, C. (2019). Longevity of preserved germplasm: the temperature dependency of aging reactions in glassy matrices of dried fern spores. *Plant and Cell Physiology*, 60(2), 376-392. doi: <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy217>
- Batalha, M. A., & Mantovani, W. (2000). Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. *Revista Brasileira de Biologia*, 60(1), 129-145. <https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000100016>
- Beck, H., Snodgrass, J. W., & Thebpanya, P. (2013). Long-term exclosure of large terrestrial vertebrates: implications of defaunation for seedling demographics in the Amazon rainforest. *Biological Conservation*, 163, 115-121. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.03.012>
- Bernardo, P. V. D. S., & Melo, F. R. D. (2013). Assemblage of medium and large size mammals in an urban semideciduous seasonal forest fragment in cerrado biome. *Biota Neotropica*, 13, 76-80. doi: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000200008>
- Bicca-Marques, J. C. (2003). How do howler monkeys cope with habitat fragmentation?. In *Primates in fragments: Ecology and conservation* (pp. 283-303). Boston, MA: Springer US. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3770-7_18
- Bispo, C., Morisso, M., & Mora, T. (2010). Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. *Acta Botânica Brasileira*, 24, 96–103. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000100010>
- Bravo, S. P. (2009). Implications of behavior and gut passage for seed dispersal quality: the case of black and gold howler monkeys. *Biotropica*, 41(6), 751-758. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00538.x>

- Bueno, R. S., Guevara, R., Ribeiro, M. C., Culot, L., Bufalo, F. S., & Galetti, M. (2013). Functional redundancy and complementarities of seed dispersal by the last neotropical megafrugivores. *PloS one*, 8(2), e56252. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056252>
- Bufalo, F. S., Galetti, M., & Culot, L. (2016). Seed dispersal by primates and implications for the conservation of a biodiversity hotspot, the Atlantic Forest of South America. *International Journal of Primatology*, 37(3):333–349. doi: <https://doi.org/10.1007/S10764-016-9903-3>
- Canale, G. R., Suscke, P., Rocha-Santos, L., São Bernardo, C. S., Kierulff, M. C. M., & Chivers, D. J. (2016). Seed dispersal of threatened tree species by a critically endangered primate in a Brazilian hotspot. *Folia Primatologica*, 87(3), 123-140. doi: <https://doi.org/10.1159/000447712>
- Chanthorn, W., Wiegand, T., Getzin, S., Brockelman, W. Y., & Nathalang, A. (2017). Spatial patterns of local species richness reveal importance of frugivores for tropical forest diversity. *Journal of Ecology*, 00, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12886>
- Chapman, C. A. (1995). Primate seed dispersal: coevolution and conservation implications. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 4(3), 74-82. doi: <https://doi.org/10.1002/evan.1360040303>
- Chapman, C. A., & Russo, S. E. (2007). Primate seed dispersal: Linking behavioral ecology with forest community structure. In C. J. Campbell, A. Fuentes, K. C. MacKinnon, M. Panger, & K. Bearder (Eds.), *Primates in perspective* (pp. 510–525). Oxford: Oxford University Press.
- Cosyns E., Claerbout S., Lamoot I., & Hoffmann M. (2005). Endozoochorous seed dispersal by cattle and horse in a spatially heterogeneous landscape. *Plant Ecology*, 178(2), 149–162. doi: <https://doi.org/10.1007/s11258-004-2846-3>
- Cox, D. T., & Gaston, K. J. (2018). Human–nature interactions and the consequences and drivers of provisioning wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1745), 1–9. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0092>
- de Souza, A. C., Donohue, K., & de Mattos, E. A. (2022). The effect of seed-dispersal timing on seedling recruitment is modulated by environmental conditions that vary across altitude in a threatened palm. *Annals of Botany*, 129(7), 839-856. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcac038>
- dos Reis, N. R., Peracchi, A. L., Batista, C. B., & Rosa, G. L. M. (2015). *Primates do Brasil: guia de campo*. Technical Books Editora, 328p.
- Duncan, R. S., & Chapman, C. A. (2002). 29 Limitations of animal seed dispersal for enhancing forest succession on degraded lands. seed dispersal and frugivory: *Ecology, evolution, and conservation*, 437. doi: <https://doi.org/10.1079/9780851995250.0437>

- Estrada, A., & Coates-Estrada, R. (1991). Howler monkeys (*Alouatta palliata*), dung beetles (Scarabaeidae) and seed dispersal: ecological interactions in the tropical rain forest of Los Tuxtlas, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*, 7(4), 459-474. doi: <https://doi.org/10.1017/S026646740000585X>
- Fragaszy, D. M., Visalberghi, E., & Fedigan, L. (2004). The complete capuchin – the biology of the genus *Cebus*. *Cambridge University Press*, 339p.
- Freese, C. H., & Oppenheimer, J. R. (1981). The capuchin monkey, genus. *Cebus*. In: J. COIMBRA-FILHO & R. A. MITTERMEIER (eds.). *Ecology and Behavior of Neotropical Primates. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 1*, 331–390.
- Freitas, C. H. D., Setz, E. Z., Araújo, A. R., & Gobbi, N. (2008). Agricultural crops in the diet of bearded capuchin monkeys, *Cebus libidinosus* Spix (Primates: Cebidae), in forest fragments in southeast Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 25(1), 32–39.
- Fricke, E. C., Tewksbury, J. J., Wandrag, E. M., & Rogers, H. S. (2017). Mutualistic strategies minimize coextinction in plant-disperser networks. *Proceedings of the Royal Society B*, 284(1854), 20162302. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2302>
- Fuzessy, L. F., Cornelissen, T. G., Janson, C. H., & Silveira, F. A. O. (2016). How do primates affect seed germination? A meta-analysis of gut passage effects on neotropical plants. *Oikos* 125, 1069–1080. <https://doi.org/10.1111/oik.02986>
- Fuzessy, L. F., Janson, C. H., & Silveira, F. A. O. (2017). How far do Neotropical primates disperse seeds? *American Journal of Primatology*, 79, e22659. <https://doi.org/10.1002/ajp.22659>
- Fuzessy, L. F., Janson, C., & Silveira, F. A. (2018). Effects of seed size and frugivory degree on dispersal by Neotropical frugivores. *Acta Oecologica*, 93, 41-47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.10.004>
- Galetti, M., & Pedroni, F. (1994). Seasonal diet of capuchin monkeys (*Cebus apella*) in a semideciduous forest in south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, 27-39. doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467400007689>
- Gardner, C. J., Bicknell, J. E., Baldwin-Cantello, W., Struebig, M. J., & Davies, Z. G. (2019). Quantifying the impacts of defaunation on natural forest regeneration in a global meta-analysis. *Nature communications*, 10(1), 4590. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12539-1>
- Gestich, C. C., Nagy-Reis, M. B., & Caselli, C. B. (2019). From dropping to dropping: The contribution of a small primate to seed dispersal in Atlantic Forest. *Acta Oecologica*, 100, 103464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103464>
- Giraldo, P., Gómez-Posada, C., Martínez, J., & Kattan, G. (2007). Resource use and seed dispersal by red howler monkeys (*Alouatta seniculus*) in a Colombian Andean forest. *Neotropical Primates*, 14(2), 55-64. doi: <https://doi.org/10.1896/044.014.0202>

- Gómez, J. M., & Verdú, M. (2012). Mutualism with plants drives primate diversification. *Systematic Biology*, 61(4), 567-577. doi: <https://doi.org/10.1093/sysbio/syr127>
- Gonçalves, B. D. A., Lima, L. C. P., & Aguiar, L. M. (2022). Diet diversity and seasonality of robust capuchins (*Sapajus* sp.) in a tiny urban forest. *American Journal of Primatology*, 84(8), e23396. doi: <https://doi.org/10.1002/ajp.23396>
- Haugaasen, T., & Peres, C.A. (2005). Primate assemblage structure in Amazonian flooded and unflooded forests. *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society of Primatologists*, 67(2), 243-258. doi: <https://doi.org/10.1002/ajp.20180>
- Hannibal, W., de Jesus, P. R., Oliveira, R. F., & Ragusa-Netto, J. (2019). Frugivory and seed dispersal by the lowland tapir in a fragmented landscape of Cerrado in southern Goiás, Brazil. *Boletim da sociedade Brasileira de Mastozoologia*, 84, 19-22
- Hawes, J. E., & Peres, C. A. (2014). Ecological correlates of trophic status and frugivory in neotropical primates. *Oikos*, 123(3), 365-377. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00745.x>
- Hirsch, A., Dias, L. G., Martins, L. d. O., Campos, R. F., Landau, E. C., & Resende, N. A. T. (2002). BDGEOPRIM – Database of geo-referenced localities of neotropical primates. *Neotropical Primates*, 10(79), 79-84. Available at: http://www.icb.ufmg.br/~primatas/home_bdgeoprim.htm
- Howe, H. F. (1980). Monkey dispersal and waste of a neotropical fruit. *Ecology*, 61(4), 944-959. doi: <https://doi.org/10.2307/1936763>
- Howe, H. F., & Miriti, M. N. (2004). When seed dispersal matters. *BioScience*, 54(7), 651-660. doi: [https://doi.org/10.1641/00063568\(2004\)054\[0651:WSDM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/00063568(2004)054[0651:WSDM]2.0.CO;2)
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2021). Available at: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-de-brasilia> (Accessed Oct 2022).
- Jordano, P. (2010). Pollen, seeds and genes: the movement ecology of plants. *Heredity*, 105(4), 329-330. doi: <https://doi.org/10.1038/hdy.2010.28>
- Julliot, C. (1994). Frugivory and seed dispersal by red howler monkeys: evolutionary aspects. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie*, 49(4), 331-341. Available at: hal-03529116
- Julliot, C. (1997). Impact of seed dispersal by red howler monkeys *Alouatta seniculus* on the seedling population in the understorey of tropical rain forest. *Journal of Ecology*, 431-440. doi: <https://doi.org/10.2307/2960567>
- Kuhlmann, M., & Fagg, C. W. (2012). Frutos e sementes do cerrado: atrativos para fauna: guia de campo. Rede de Sementes do Cerrado. <http://www.frutosatrativosdocerrado.bio.br/arquivos/conteudo-guia.pdf>

- Khurana, E. K. T. A., & Singh, J. S. (2001). Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental conservation*, 28(1), 39-52. doi: <https://doi.org/10.1017/S0376892901000042>
- Lambert, J. E. (1999). Seed handling in chimpanzees (*Pan troglodytes*) and redbellied monkeys (*Cercopithecus ascanius*): Implications for understanding hominoid and cercopithecine fruit-processing strategies and seed dispersal. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 109(3), 365-386. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199907\)109:3<365::AID-AJPA6>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199907)109:3<365::AID-AJPA6>3.0.CO;2-Q)
- Lambert, J. E. (2010). Primate frugivory and seed dispersal: Implications for the conservation of biodiversity. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 19(5), 165-166. doi: <https://doi.org/10.1002/evan.20278>
- Link, A., & Di Fiore, A. (2006). Seed dispersal by spider monkeys and its importance in the maintenance of neotropical rain-forest diversity. *Journal of tropical ecology*, 22(3), 235-246. doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467405003081>
- Lousa, T. C., & Mendes F. D. C. (2022) Inter-group conflicts involving adult female and male bearded capuchins, *Sapajus libidinosus* (Primates: Cebidae) in the context of provisioned resources: resource defense or sexual selection? *Zoologia*, 39:e21020. doi: <https://doi.org/10.1590/S1984-4689.v39.e21020>
- Ludwig, G., Aguiar, L. M., & Rocha, V. J. (2005). Uma avaliação da dieta, da área de vida e das estimativas populacionais de *Cebus nigritus* (Goldfuss, 1809) em um fragmento florestal no norte do estado do Paraná. *Neotropical Primates*, Belo Horizonte, 13(3), 12–18. doi: <https://doi.org/10.1896/1413-4705.13.3.12>
- McNair, J. N., Sunkara, A., Frobish, D. (2012). How to analyse seed germination data using statistical time-to-event analysis: non-parametric and semi-parametric methods. *Seed Sci. Res.* 22, 77–95. doi: <https://doi.org/10.1017/S0960258511000547>
- Mikich, S.B., & Silva, S.M. (2001). Composição florística e fenologia das espécies zoocóricas de remanescentes de floresta estacional semidecidual no centro-oeste do Paraná, Brasil. *Acta Botânica Brasilica*, Brasília, DF, 15(1), 89–113. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062001000100010>
- Moura, A. C., & McConkey, K. R. (2007). The capuchin, the howler, and the Caatinga: seed dispersal by monkeys in a threatened Brazilian forest. *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society of Primatologists*, 69(2), 220-226. doi: <https://doi.org/10.1002/ajp.20343>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. doi: <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Oliveira-Filho A. T., & Ratter J. A. (2002). Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: P. S. Oliveira, R. J. Marquis (Eds), *The Cerrados of Brazil: ecology*

- and natural history of a neotropical savanna. *Columbia University Press, New York, USA*, 91–120.
- Peres, M. K. (2011). Diásporos do cerrado atrativos para fauna: chave interativa, caracterização visual e relações ecológicas. Ph.D. Doctoral thesis, Universidade de Brasília, Brasília, 122 pp. Available at: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/8595>
- Peres, C. A., & Van Roosmalen, M. (2002). Primate frugivory in two species-rich Neotropical forests: implications for the demography of large-seeded plants in overhunted areas. *Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution and conservation*, 407-421.
- Plus, V., & Mix, G. (2012). Substrato, emergência e desenvolvimento inicial. Cultivos De Pimentões Sob Telas Fotosseletivas, 36. Available at: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/11468/3/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Juliano%20Queiroz%20Santana%20Rosa%20-%202012.pdf#page=37>
- Queenborough, S. A., Mazer, S. J., Vamosi, S. M., Garwood, N. C., Valencia, R., & Freckleton, R. P. (2009). Seed mass, abundance and breeding system among tropical forest species: do dioecious species exhibit compensatory reproduction or abundances?. *Journal of ecology*, 97(3), 555-566. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01485.x>
- R Development Core Team. (2018). A language and environment for statistical computing. Version 3.5.2. *R Foundation for Statistical Computing*. Available at: [Crossdating in dplR \(microsoft.com\)](https://www.R-project.org/)
- Rasec-Silva, A., Bertassoni, A., & De Marco Júnior, P. (2023). Capuchin monkey (*Sapajus* spp.) diet: current knowledge, gaps, and future directions. *Primates*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1007/s10329-023-01057-w>
- Reis, S. C. D., Dias, J. H. P., Chiarello, A. G., Sá, M. E. D., & Ramos, I. P. (2023). Germination of fruits eaten by the maned wolf *Chrysocyon brachyurus* (Illiger, 1815) (Carnivora, Canidae). *Biota Neotropica*, 23, e20221413. doi: <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2022-1413>
- Rodrigues, K. C. (2013). Padrão de atividades, comportamento alimentar, exploração de habitat e área de vida de um grupo de *Sapajus flavius* (Schreber, 1774) (Primates, Cebidae) em um fragmento de Floresta Atlântica, Paraíba, Brasil. Doctoral dissertation. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba. Available at: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/7631>
- Russo, S. E., & Chapman, C. A. (2011). Primate seed dispersal: Linking behavioral ecology with forest community structure. *Primates in perspective*, 2, 523-534.
- Rylands, A. B., & Mittermeier, R. A. (2009). The diversity of the new world primates (Platyrrhini): An annotated taxonomy. In: Garber PA, Estrada A, Bicca-Marques JC. doi: https://doi.org/10.1007/978-0-387-78705-3_2
- Sabbatini, G., Stammati, M., Tavares, M. C. H., Giuliani, M. V., & Visalberghi, E. (2006). Interactions between humans and capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) in the Parque

- Nacional de Brasília, Brazil. *Applied Animal Behaviour Science*, 97(2-4), 272-283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.07.002>
- Sabbatini, G., Stammati, M., Tavares, M. C. H., & Visalberghi, E. (2008). Behavioral flexibility of a group of bearded capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) in the National Park of Brasília (Brazil): Consequences of cohabitation with visitors. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 685–693. doi: <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000400002>
- Sacramento, T. S. (2014). Influência da disponibilidade de alimentos sobre os comportamentos de um grupo de *Sapajus libidinosus* e análise das interações e conflitos entre humanos e macacos-prego no Parque Nacional de Brasília, DF. Master's dissertation. Universidade de Brasília. Available at: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/15856>
- Santos L. (2015). Parâmetros nutricionais da dieta de duas populações de macacos-prego: *Sapajus libidinosus* no ecótono cerrado/caatinga e *Sapajus nigritus* na Mata Atlântica. Master's Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi: <https://doi.org/10.11606/t.47.2015.tde-10082015-110633>
- Schupp, E. W., Jordano, P., & Gomez, J. M. (2010). Seed dispersal effectiveness revisited: A conceptual review. *New Phytologist*, 188, 333–353. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03402.x>
- Slik, J. W. F. (2005). Assessing tropical lowland forest disturbance using plant morphological and ecological attributes. *Forest Ecology and Management*, 205(1-3), 241-250. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.011>
- Spagnoletti, N., Visalberghi, E., Verderane, M. P., Ottoni, E., Izar, P., & Fragaszy, D. (2012). Stone tool use in wild bearded capuchin monkeys, *Cebus libidinosus*. Is it a strategy to overcome food scarcity?. *Animal Behaviour*, 83(5), 1285-1294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.03.002>
- Stevenson, P. R., Quiñones, M. J., & Ahumada, J. A. (2000). Influence of fruit availability on ecological overlap among four neotropical primates at Tinigua National Park, Colombia 1. *Biotropica*, 32(3), 533-544. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00499.x>
- Stevenson, P. R., Castellanos, M. C., Pizarro, J. C., & Garavito, M. (2002). Effects of seed dispersal by three ateline monkey species on seed germination at Tinigua National Park, Colombia. *International Journal of Primatology*, 23, 1187–1204. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1021118618936>
- Stevenson, P. R. (2007). Estimates of the number of seeds dispersed by a population of primates in a lowland forest in western Amazonia. *Seed dispersal: theory and its application in a changing world*, 340-362.
- Stevenson, P. R. (2011). The abundance of large ateline monkeys is positively associated with the diversity of plants regenerating in neotropical forests. *Biotropica*, 43(4), 512-519. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00708.x>

- Suzin, A., Back, J. P., Garey, M. V., & Aguiar, L. M. (2017). The relationship between humans and capuchins (*Sapajus* spp.) in an urban green area in Brazil. *International Journal of Primatology*, 38(6):1058–1071. doi: <https://doi.org/10.1007/s10764-017-9996-3>
- Terborgh, J. (1992). Maintenance of diversity in tropical forests. *Biotropica*, 283-292. doi: <https://doi.org/10.2307/2388523>
- Terborgh, J., Nuñez-Iturri, G., Pitman, N. C., Valverde, F. H. C., Alvarez, P., Swamy, V., Pringle, E. G., & Paine, C. T. (2008). Tree recruitment in an empty forest. *Ecology*, 89(6), 1757-1768. doi: <https://doi.org/10.1890/07-0479.1>
- Therneau, T. (2015). A Package for Survival Analysis in S_. Version 2.38. <https://CRAN.R-project.org/package=survival>.
- Traveset, A., Riera N., & Mas R. E. (2001). Passage through bird guts causes interspecific differences in seed germination characteristics. *Functional Ecology*. 15(5), 669–675. doi: <https://doi.org/10.1046/j.0269-8463.2001.00561.x>
- Umarani, R., Aadhavan, E. K., & Faisal, M. M. (2015). Understanding poor storage potential of recalcitrant seeds. *Current science*, 2023-2034. Available at: <https://www.jstor.org/stable/24905571>
- Valença, T., Resende B., Savalli, C. (2021). Human–wildlife interactions with different species in a Brazilian park: A naturalistic approach, *Anthrozoös*, 34:5, 615-631. doi: <https://doi.org/10.1080/08927936.2021.1914443>
- Valenta, K., & Fedigan, L. M. (2010). Spatial patterns of seed dispersal by white-faced capuchins in Costa Rica: evaluating distant-dependent seed mortality. *Biotropica*, 42(2), 223-228. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00551.x>
- Vieira-Alencar, J. P. S., Bolochio, B. E., Carmignotto, A. P., Sawaya, R. J., Silveira, L. F., Valdujo, P. H., Nogueira, C., & Nori, J. (2023). How habitat loss and fragmentation are reducing conservation opportunities for vertebrates in the most threatened savanna of the World. *Perspectives in Ecology and Conservation*. 21(2), 121-127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2023.02.004>
- Wehncke, E. V., Valdez, C. N., & Domínguez, C. A. (2004). Seed dispersal and defecation patterns of *Cebus capucinus* and *Alouatta palliata*: consequences for seed dispersal effectiveness. *Journal of Tropical Ecology*, 20(5), 535-543. doi: <https://doi.org/10.1017/S0266467404001865>
- Wehncke, E. V., & Dalling, J. W. (2005). Post-dispersal seed removal and germination selected tree species dispersed by *Cebus capucinus* on Barro Colorado Island, Panama 1. *Biotropica: The Journal of Biology and Conservation*, 37(1), 73-80. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2005.03037.x>
- Wright, S. J., Hernández, A., & Condit, R. (2007). The bushmeat harvest alters seedling banks by favoring lianas, large seeds, and seeds dispersed by bats, birds, and wind. *Biotropica*, 39(3), 363-371. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00289.x>

Supporting Information

Additional supporting information can be found online in the Supporting Information section at the end of this article.



Figure S1. Left - *Pedreira* pool located at Brasília National Park, Brasilia, Brazil; right - Vegetation of swampy gallery forest in the *S. libidinosus* sampling areas in the BNP. Photos: Samara de A. Teixeira.



Figure S2. Left - Greenhouse at the Biology Experimental Station at the University of Brasília, Brasilia, Brazil; right - Stand in the greenhouse with the identified seed samples. Photos: Samara de A. Teixeira.

ESTUDO 3

Ação educativa sobre os macacos-prego-amarelo (*Sapajus libidinosus*)
no Parque Nacional de Brasília

Uma versão deste capítulo será preparada como manuscrito e submetida para publicação em *Primates*.

Resumo

As interações entre visitantes e primatas no Parque Nacional de Brasília (PNB) são recorrentes há mais de vinte anos e impactam diretamente o comportamento desses animais. O presente estudo trata-se de uma ação educativa desenvolvida em 2023 pelo projeto de extensão da Universidade de Brasília “Primatas do Cerrado” no PNB. O projeto propõe a propagação de conhecimento por meio da educação ambiental e divulgação científica em ações presenciais e virtuais. Com enfoque em atividades práticas, foram realizadas intervenções educativas de longo e curto prazo com o intuito de conscientizar os visitantes por meio de ações educativas sobre a importância ecológica do macaco-prego-amarelo (*Sapajus libidinosus*) no parque. A ação de longo prazo consistiu na divulgação de um vídeo educativo acessado por QR Code, espalhado pelo parque, com informações sobre o PNB e sua biodiversidade. As ações de curta duração consistiram em atividades presenciais realizadas nos meses de agosto e setembro de 2023 e consistiram em breves explicações com os visitantes sobre os primatas do parque e distribuição de materiais educativos, aplicação de jogos interativos, e trilhas ecológicas que consistiam em caminhadas guiadas duas vezes ao dia para conhecer características do bioma Cerrado e dos macacos-prego. Foram realizados 16 encontros com os visitantes, registradas 396 visualizações no vídeo educativo e utilizados 1273 passatempos pelas crianças. Também foi registrada uma estimativa de 183 pessoas que participaram da trilha guiada. O maior obstáculo para a redução das interações entre visitantes e primatas é a presença de alimentos antropogênicos. Com isso, a sugestão é coibir a entrada desses alimentos e providenciar uma área de alimentação aos visitantes em local fechado e protegido, impossibilitando a entrada dos primatas. O projeto possibilitou a abertura de um diálogo entre os visitantes, e o parque atuou como um espaço educador com grande potencial para ensinar e aproximar as pessoas do meio ambiente. Ao encorajar ações pró-conservação e destacar os potenciais perigos que estas interações podem causar, acredito que ações com esta podem modificar positivamente as percepções das pessoas em relação aos primatas no Parque Nacional de Brasília e em outros lugares.

Palavras-chave: educação ambiental, conscientização, conservação, Parque Nacional de Brasília, *Sapajus libidinosus*

Introdução

Interações entre humanos e primatas não humanos são recorrentes e cada vez mais comuns. Muitas vezes, os efeitos da urbanização ocasionam em interações frequentemente mais conflituosas entre seres humanos e primatas. Os macacos-prego (*Sapajus* sp.) apresentam grande flexibilidade cognitiva e comportamental e, por isso, são capazes de se adaptar à áreas com ocupação antrópica (Box, 1991). Frequentemente, os macacos-prego são considerados pragas por entrarem em competição direta com humanos onde invadem plantações (Hill, 2000), roubam restos de alimentos de lixeiras, ou até mesmo, são alimentados por humanos indevidamente (Valença *et al.*, 2021). Essa aproximação pode se tornar perigosa, uma vez que os primatas vão perdendo o medo de se aproximar das pessoas, podendo ocasionar acidentes como mordidas e arranhões (Sabbatini, 2006). Esses acidentes podem, ocasionalmente, levar à transmissão de doenças como a raiva e a herpes para os seres humanos e para os primatas, respectivamente (Fragazsy *et al.*, 2004).

No Parque Nacional de Brasília (PNB), localizado no Distrito Federal, pode-se observar essa aproximação excessiva entre primatas e seres humanos, onde grupos de macacos-prego- amarelos (*Sapajus libidinosus*) são frequentemente vistos interagindo com os visitantes para obtenção de alimentos nas áreas de visitação pública. Por ser um parque nacional urbano, relativamente próximo ao centro da cidade de Brasília, o PNB recebe milhares de visitantes anualmente, o que, possivelmente, intensifica o contato entre visitantes e primatas de forma regular. As visitas ocorrem principalmente pela presença de duas piscinas de águas naturais abertas ao público. As matas de galeria adjacentes às piscinas naturais do parque são áreas de vida desses animais, o que permite fácil acesso aos visitantes portando alimentos antropogênicos aos quais, muitas vezes, são oferecidos a esses animais (Sacramento, 2014).

A alimentação do *Sapajus libidinosus* é onívora, constituindo principalmente frutos e praticamente todas as partes vegetais como folhas, flores, brotos e raízes (de Albuquerque Teixeira *et al.*, 2024). Além disso, consomem invertebrados e pequenos animais como anfíbios, répteis, roedores e aves (Fragazsy *et al.*, 2004; de Albuquerque Teixeira *et al.*, 2024). Quando há baixa disponibilidade de recursos alimentares, como durante a estação seca, os macacos-prego apresentam estratégias para acessar recursos alternativos e fazem o uso de ferramentas para adquirir outras fontes de energia, como frutos encapsulados (e.g. castanhas, e cocos) (Spagnoletti *et al.*, 2012).

Devido à frequente oferta de alimentos oferecidos aos macacos-prego do PNB, conflitos são comumente observados e foram se intensificando com o passar dos anos. Os primeiros casos

dessas interações foram reportados cientificamente há cerca de 20 anos e os primatas já perderam o medo de se aproximar dos visitantes (Fragaszy *et al.*, 2004; Sabbatini *et al.*, 2006). Ações educativas e soluções administrativas já foram sugeridas (Saito *et al.*, 2010), porém, com certa resistência à sua efetiva implementação e prática. Muitos dos visitantes desconhecem a importância ecológica dos primatas para o parque e da alimentação natural dos macacos-prego ali presentes, consequentemente, não possuem comportamentos adequados perante a aproximação dos animais (Fragaszy *et al.*, 2004). A interpretação equivocada dos visitantes em relação aos primatas tem facilitado o acesso desses animais aos alimentos antropogênicos, que podem ocasionar diversos problemas de saúde como diabetes, cáries, obesidade, problemas estomacais e cardíacos, além de alterações comportamentais (Guerrera *et al.*, 2002; Sabbatini *et al.*, 2006). O déficit nutricional desses alimentos e/ou o baixo estado de conservação dos alimentos encontrados nos lixos também podem causar alterações gastrointestinais, comprometer o sistema imunológico e afetar a saúde desses animais de forma geral (Camargo *et al.*, 2024; Sabbatini *et al.*, 2006).

Além dos prejuízos nutricionais provenientes dos alimentos antropogênicos, o estabelecimento interdependente dos animais em direção aos humanos também pode ocorrer, visto que os primatas irão frequentemente associar os seres humanos à alimentos. Essa dependência resulta em alterações comportamentais dos animais, reduzindo o tempo em busca de alimentos naturais (forrageio) e tornando esses animais mais sedentários (Sabbatini *et al.*, 2006). Consequentemente, há uma redução na função ecológica dos primatas que são considerados exímios dispersores de sementes, contribuindo na regeneração das florestas. O estudo conduzido por Sabbatini *et al.* (2006) verificou que a presença humana no parque era diretamente proporcional às interações com os primatas. Isto é, na escassez de humanos presentes no parque, mais tempo os macacos-prego despendiam forrageando por itens alimentares em seus habitats naturais.

O projeto de extensão da Universidade de Brasília “Primatas do Cerrado”, criado em 2020, busca divulgar conhecimento acerca dos primatas presentes no bioma Cerrado de uma forma lúdica e interativa por meio da educação ambiental e divulgação científica. Assim, o Primatas do Cerrado objetivou proporcionar ações educativas no Parque Nacional de Brasília para as pessoas como uma ferramenta para alcançar a sensibilização acerca das problemáticas ambientais. Além disso, de forma a ensinar sobre a importância ecológica dos macacos-prego- amarelos (*Sapajus libidinosus*), o projeto visou contribuir para uma possível redução de

conflitos entre visitantes e primatas e sugerir à administração do PNB possíveis soluções a esses conflitos.

Métodos

Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no Parque Nacional de Brasília (15° 38' 28" S, 48° 1' 15" O) no Distrito Federal. O PNB é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral e um parque urbano, possui aproximadamente 42.389,01 hectares, e tem como objetivo contribuir para o equilíbrio das condições climáticas, preservar os ecossistemas naturais e evitar a erosão dos solos no Distrito Federal (ICMBIO, 2017). O parque inclui todas as fitofisionomias do bioma Cerrado onde há uma grande diversidade de formações vegetais, abrigando assim, uma variedade de fauna e flora.

Uma pequena área do PNB está aberta para visitação pública e contém duas piscinas (Pedreira e Areal) de águas naturais que funcionam como atrativos para a população local. O parque também dispõe de duas trilhas, a Capivara e a Cristal Água (ICMBIO, 2017). A piscina Pedreira foi escolhida como ponto principal do trabalho por ter maior proximidade à trilha da Capivara e local mais próximo às matas de galeria pantanosas circunjacentes à piscina onde os macacos-prego-amarelos (*Sapajus libidinosus*) mais frequentam por ser parte da sua área de vida.

Projeto de Extensão “Primatas do Cerrado”

Criado em 2020, o projeto surgiu após vários diálogos entre as criadoras sobre a falta de representatividade de primatólogos no bioma Cerrado, na região Centro-oeste e, mais especificamente, na cidade de Brasília – DF.

Assim, com cada uma das coordenadoras desenvolvendo suas próprias pesquisas nas áreas de comportamento animal, ecologia e fisiologia dos macacos-prego-amarelos (*Sapajus libidinosus*), o projeto foi criado buscando aprender mais sobre todas as espécies de primatas presentes no bioma, ao mesmo tempo para compartilhar essas descobertas com outras pessoas.

Há certa dificuldade em obter informações a respeito dos primatas no bioma Cerrado e o projeto visa transmitir o conhecimento de uma forma simples, didática e acessível a todos. Inicialmente, o Primatas do Cerrado iniciou as atividades apenas com divulgação científica por meio das redes sociais em época de pandemia. Porém, se expandiu e passou a atuar mais

ativamente com a educação ambiental não formal, disponibilizando recursos didático-pedagógicos para docentes e realizando intervenções fora do ambiente virtual. O projeto tem o objetivo de garantir a disseminação e o acesso a informações científicas e confiáveis a respeito da Primatologia e da educação ambiental, de modo a contribuir com o desenvolvimento de práticas sustentáveis.

A equipe de coordenação do Primatas do Cerrado é composta pelas alunas de doutorado (Samara de A. Teixeira e Jéssica Mendes de Souza), tendo como coordenadora geral a professora efetiva da UnB, a Dra. Maria Clotilde H. Tavares. Para isso, algumas atribuições da coordenação são gerenciar, organizar e revisar as atividades da equipe de apoio, cronogramas, recursos e informações sobre o projeto. Tudo isso, visando a produção de materiais informativos que atendam às necessidades do público à medida que o projeto evolui.

Ação educativa

A ação educativa desenvolveu-se a partir da coordenação adjunta do projeto de extensão da Universidade de Brasília, [Primatas do Cerrado](#), ao qual tem como coordenadoras as alunas Samara Teixeira e Jéssica Mendes, juntamente à colaboração de oito extensionistas que auxiliaram no desenvolvimento dos materiais que foram distribuídos aos visitantes. Além disso, contamos com a participação de 32 voluntários por meio do Programa de Voluntariado em parceria com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, instituição administradora do PNB (ICMBio) (Figura 1).

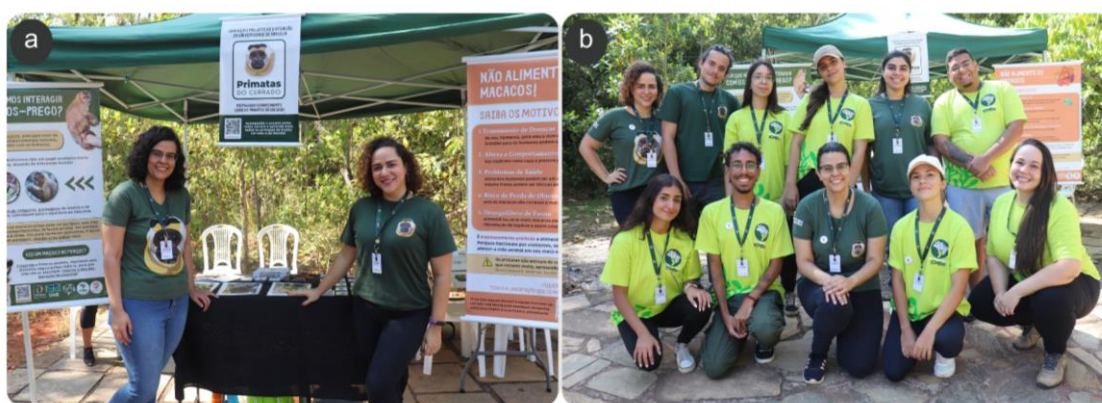


Figura 1. Participantes da ação educativa no Parque Nacional de Brasília. (a) Coordenadoras adjuntas, Jéssica Mendes (à esquerda) e Samara Teixeira (à direita), do projeto de extensão da Universidade de Brasília, Primatas do Cerrado; (b) Grupo de voluntários do ICMBio.

Todos os voluntários e colaboradores obrigatoriamente passaram por um treinamento com duração de 6 horas de forma remota e ministrado pelas coordenadoras do projeto, antes do início das ações no parque. O treinamento baseou-se em informações sobre os primatas, especialmente a espécie *S. libidinosus* presente no PNB, o bioma Cerrado, e as atividades e funções a serem executadas pelos voluntários durante a ação presencial.

Foram implementadas duas ações, as quais foram divididas em intervenções a longo prazo e a curto prazo.

As intervenções a longo prazo consistiram no desenvolvimento de um vídeo educativo com informações pertinentes sobre o PNB e sua biodiversidade, os primatas presentes no parque e informações a respeito da espécie do macaco-prego-amarelo e sua importância ecológica, além de subsídios sobre as consequências negativas das interações entre seres humanos e macacos. O vídeo educativo foi postado no dia 01 de agosto de 2023 e foram registrados dados de visualizações e comentários durante os meses da intervenção presencial como forma de avaliar o alcance gerado pelo vídeo. No entanto, esse vídeo foi disponibilizado, mesmo após as intervenções presenciais, e acessado pelos visitantes por meio de *QR Codes* na plataforma Youtube que foram espalhados pelo parque à acesso de todos. Para acessar o vídeo, [clique aqui](#).

Além disso, placas informativas e painéis educativos com informações sobre o *Sapajus libidinosus* foram fornecidos ao PNB a fim de expor esses materiais ao público fornecendo instruções relevantes sobre esses animais. O material cedido pelo projeto pode ser encontrado no Centro de Visitantes do PNB.

As intervenções a curto prazo consistiram em eventos presenciais no PNB com duração de oito finais de semana dos meses de agosto e setembro de 2023, totalizando 16 dias, das 8h às 16h. Foram escolhidos esses meses por serem os mais quentes e secos da região (Oliveira-Filho & Ratter, 2002), resultando em um maior fluxo de pessoas visitando o local. O número de visitantes foi registrado pela coordenação do parque.

Materiais educativos como livretos, fotografias, pôsteres, amostras de frutos e sementes consumidos pelos macacos foram apresentados aos visitantes para melhor ilustrar as informações apresentadas e conscientizar sobre a importância ecológica dos macacos no PNB. Para as crianças e os adolescentes, foram elaborados materiais didáticos como o jogo do perfil e o jogo da memória, além de passatempos como caça-palavras e desenhos de macacos para colorir (Figura 2). Foi contabilizada a quantidade de passatempos utilizados pelas crianças durante a intervenção presencial.



Figura 2. Atividades presenciais no Parque Nacional de Brasília. (a) Exposição dos materiais educativos utilizados durante a ação educativa presencial; (b) Crianças em jogos interativos durante a ação presencial. Fotos: Jéssica Mendes.

Além disso, foram realizadas trilhas guiadas na trilha da Capivara com o intuito de complementar as informações apresentadas na área da piscina Pedreira, e aproximar o público da natureza, ressaltando a importância de se preservar os primatas e seus habitats. As trilhas eram realizadas duas vezes ao dia, às 10h e às 14h, sempre na presença de pelo menos um voluntário. Eram recolhidos os nomes das pessoas interessadas em participar da trilha na entrada da piscina pelos voluntários, com lotação máxima de dez pessoas por horário. A trilha da Capivara possui extensão de 1.300 metros e o grau de dificuldade é fácil, permitindo que crianças e idosos participassem também (Figura 3). Ao final da trilha, foram distribuídos livretos educativos e bottons como uma forma de agradecimento pela participação e selo de “guardião dos macacos”.

Todas as atividades e materiais envolvidos na ação educativa foram elaborados pelas coordenadoras e extensionistas do projeto e podem ser acessados [aqui](#).



Figura 3. Vista do Parque Nacional de Brasília mostra (a) Trilha da Capivara delimitada pela linha laranja, onde foram realizadas trilhas guiadas. A figura da bandeira representa o início e o fim da trilha; (b) Trilha da Capivara com mata de galeria pantanosa. Foto: Samara de A. Teixeira.

Resultados e Discussão

Durante os meses de intervenção presencial, foi registrada a entrada de 32.387 visitantes no parque (Tabela 1). Como este estudo foi realizado no período da seca, a presença de visitantes é mais elevada, o que pode acarretar a permanência prolongada dos primatas na área de visitação pública, resultando na redução da área de uso desses animais e em mais episódios de interações entre humanos e primatas (Sabbatini *et al.*, 2008; Sacramento, 2014). Comumente, os primatas do gênero *Sapajus* despendem mais tempo forrageando por insetos e outros invertebrados na falta de frutos (Silva *et al.*, 2011). Durante os meses mais secos onde há escassez de frutos carnosos disponíveis, os primatas modificam seus comportamentos de deslocamento e forrageio, alterando seu comportamento alimentar e passando a interagir mais com humanos a fim de ter acesso a alimentos antropogênicos (Sabbatini *et al.*, 2008; Sacramento, 2014). Isto pode ser preocupante dado que esses animais estão ingerindo alimentos antrópicos de alto teor calórico e deixando de cumprir o papel ecológico de controle

populacional de insetos e invertebrados no PNB. Além disso, a ingestão de alimentos inapropriados pode ocasionar alterações nos padrões comportamentais e no uso de habitat e intensificar os conflitos, potencialmente perigosos com alguns visitantes (e.g. Hoffman & O’Riain, 2011; McLennan *et al.*, 2017; Siljander *et al.*, 2020). Em matrizes urbanas, como é o caso do PNB, as tensões entre primatas e seres humanos podem provocar sentimentos de medo e, até ódio perante os macacos, o que pode exacerbar ainda mais as relações contenciosas (Fuentes & Hockings, 2010).

Estudos anteriores (Sabbatini *et al.*, 2006 – 73%; Brasileiro *et al.*, 2011- 95%) demonstraram que os visitantes não apontaram perigo eminente perante os primatas. No entanto, foram registrados seis casos de mordidas/arranhões dos macacos-prego-amarelos aos visitantes no PNB somente no ano de 2023. Outrossim, um desses casos foi bastante significativo com ferimento grave e exposição de tecido adiposo na região do cotovelo (informação fornecida pela diretoria do PNB). Em um estudo realizado por Camargo e colaboradores (2024) no PNB, foi observado que, na maioria dos casos, os humanos eram agressivos, principalmente ao tentarem espantar os macacos para longe dos seus pertences, incluindo alimentos. Ainda, o sucesso de forrageamento dos primatas era maior quando as interações com os visitantes eram reduzidas, uma vez que a abordagem e o foco à alimentação eram maiores. O sucesso dos macacos-prego na obtenção de alimentos antropogênicos era garantido somente quando os visitantes ofereciam comida diretamente aos animais.

O fato do PNB ter como principal atrativo as piscinas naturais molda as interações dos humanos com os macacos-prego. A maioria dos visitantes (se não todos) deixam os pertences como mochilas, caixas térmicas e bolsas nas proximidades das piscinas sem vigilância enquanto estão envolvidos nas atividades como natação e caminhadas nas trilhas. Os macacos-prego aproveitam a oportunidade para roubar os alimentos caso o objeto seja deixado desprotegido, com isso, os humanos mais próximos respondem agressivamente aos comportamentos dos primatas (Camargo *et al.*, 2024).

Tabela 1. Número de visitantes presentes no Parque Nacional de Brasília em 2023 de acordo com as datas em que aconteceram a ação educativa.

Data da ação educativa	Nº de visitantes
05/08	1204
06/08	2457
12/08	1508
13/08	1911
19/08	1215
20/08	2085
26/08	1284
27/08	2059
02/09	918
03/09	1883
09/09	2978
10/09	3062
16/09	1244
17/09	2516
23/09	2626
24/09	3437
TOTAL	32387

Foram registrados 396 visualizações e 8 comentários no vídeo educativo elaborado pela coordenação do projeto de extensão. Também foram utilizados 1273 passatempos pelas crianças, sendo que as atividades de colorir os macacos foram as mais solicitadas (Tabela 2). Muitas crianças e seus respectivos pais/responsáveis questionaram se poderiam oferecer alimentos aos macacos, principalmente frutos. Apesar de frutos e insetos serem bastante comuns na dieta de macacos-prego, esses animais possuem uma alimentação bastante diversificada com o consumo de flores, caules e pequenos animais como roedores e pequenas aves (de Albuquerque Teixeira *et al.*, 2024). A associação de frutos, principalmente a banana, e primatas é bastante frequente e pode causar uma distorção da realidade sobre a alimentação desses animais, comportamento bastante observado durante a ação. Estudos anteriores realizados no PNB evidenciaram que as principais interações observadas foram de humanos

alimentando e/ou oferecendo algum item alimentar antropogênico (mesmo que frutas), aproximação para fotografá-los e fazer vídeos, e disputas para recuperar itens roubados (Sabbatini *et al.*, 2006; Sacramento, 2014; Machado, 2019).

Tabela 2. Esforço amostral das atividades direcionadas para as crianças participantes da ação educativa no Parque Nacional de Brasília nos finais de semana dos meses de agosto e setembro de 2023.

Atividade	Média por dia	Soma das atividades
Colorir macaco-prego	13	208
Colorir sagui	13,38	214
Colorir bugio	12,44	199
Caça-palavras	9,5	152
Jogo dos 7 erros	9,44	151
Liga-pontos macaco-prego	7,06	113
Liga-pontos sagui	7,06	113
Conecte/Labirinto	7,69	123

O número exato de participantes na trilha guiada não pôde ser registrado. No entanto, foram realizadas 19 trilhas guiadas onde participaram uma estimativa de 183 pessoas. Estas ações contribuíram para uma maior conscientização da população local que frequenta o parque, consequentemente, aumentando a proteção dos primatas no PNB e em outros lugares. Ao enfatizar o importante papel na natureza dos primatas e ao destacar os potenciais perigos que as interações entre humanos e animais silvestres podem causar, pode-se evitar informações imprecisas e promover uma coexistência mais harmoniosa entre as duas espécies. Além disso, essas ações podem modificar positivamente a percepção das pessoas em relação aos primatas presentes no PNB e em qualquer ambiente. Ao incentivar ações pró-conservação, a concepção dos visitantes pode ser aperfeiçoada e as questões ambientais relacionadas aos primatas podem ser otimizadas.

Embora a curta duração da ação educativa no Parque Nacional de Brasília, pôde-se observar um retorno positivo em relação à ação educativa com o elevado número de pessoas interessadas, envolvendo todas as faixas etárias, e evidencia o interesse dos visitantes sobre as informações e atividades apresentadas. Contudo, o alcance e a efetiva modificação de hábitos

para causar um impacto significativo para os primatas no PNB são irrisórios a longo prazo e dependem de uma série de fatores multidisciplinares. Visto que o maior obstáculo de melhoria para reduzir as interações entre humanos e primatas é a presença de alimentos antropogênicos na área de visitação pública, coibir a entrada desses alimentos é a melhor forma de evitar essa aproximação. À vista disso, a proposta de uma convivência sustentável e ideal é providenciar uma área de alimentação aos visitantes em um local fechado e protegido, impossibilitando a entrada de primatas no local. No entanto, a frequência de visitação pode ser impactada com essa modificação e isso deve ser levado em consideração. Para isso, outra sugestão é recomendar os visitantes que deixem os seus pertences dentro dos veículos e se alimentem fora da área de alcance dos primatas.

O ideal é que essas recomendações sejam feitas em conjunto com uma área de recreação e inclusão da população local, a fim de proporcionar atividades de educação ambiental, orientando os visitantes para o conhecimento e a apreciação dos recursos naturais presentes na Unidade de Conservação. Com isso, reduziria significativamente os riscos associados a essas interações e essa implementação beneficiaria o parque como um todo.

Conclusão

A promoção de atividades educativas que envolvam a interação do público em parques urbanos, como a observação de primatas na natureza de forma consciente, pode encorajar uma boa convivência e contribuir para a redução do contato direto entre humanos e primatas. Além disso, ensinar aos visitantes sobre a importância ecológica e sobre como evitar acidentes com os primatas é de suma importância na prevenção de transmissão de doenças. É fundamental que os visitantes não vejam os macacos-prego como “ameaças” ou “ladrões”. A inclusão dos visitantes em atividades educativas pode ser uma excelente estratégia para mitigar os conflitos primatas-humanos. O manejo e a fiscalização dos funcionários do parque também devem ser reforçados aos visitantes adequadamente e alertar sobre as possíveis consequências dessas interações, caso estas sejam ignoradas. É papel do parque, enquanto Unidade de Conservação de Proteção Integral, contribuir para a implementação de medidas preventivas para evitar a perda da função ecológica dessa espécie e conservar a biodiversidade como um todo.

Referências

- Box, H. O. (1991). *Primate Responses to Environmental Change*. Chapman and Hall, London.
- Brasileiro, L., de Almeida, L. E., & Saito, C. H. (2011). Percepção dos visitantes do Parque Nacional de Brasília sobre sua interação com *Cebus libidinosus*: subsídios para uma prática de Educação Ambiental e de conduta consciente de visitantes de Unidade de Conservação da Natureza. *REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, 26. <https://doi.org/10.14295/remea.v26i0.3352>
- Camargo, M. R., Lousa, T. C., Mota, R. V., & Mendes, F. D. (2024). Interactions with humans reduce the success of foraging for anthropogenic food by capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) in Brasília National Park, Brazil. *American Journal of Primatology*, e23620. <https://doi.org/10.1002/ajp.23620>
- Day, B. A., & Monroe, M. C. (2000). Environmental education and communication for a sustainable world. *Washington, DC: Academy for Educational Development*.
- de Albuquerque Teixeira, S., Souza-Alves, J. P., Bezerra de Melo, R., Henriques Tavares, M. C., & Haugaasen, T. (2024). Diet and seed dispersal of bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*) in Brasilia National Park. *American Journal of Primatology*, e23665. <https://doi.org/10.1002/ajp.23665>
- Fragaszy, D. M., Visalberghi, E., Fedigan, L. (2004). The complete capuchin – the biology of the genus *Cebus*. *Cambridge University Press*, 339p.
- Fuentes, A., & Hockings, K. J. (2010). The ethnoprimate approach in primatology. *American Journal of Primatology*, 72, 841–847. <https://doi.org/10.1002/ajp.20844>
- Guerrera, W., Sleeman, J. M., Jasper, S. B., Pace, L. B., Ichinose, T. Y., & Reif, J. S. (2003). Medical survey of the local human population to determine possible health risks to the mountain gorillas of Bwindi Impenetrable Forest National Park, Uganda. *International Journal of Primatology*, 24, 197-207. <https://doi.org/10.1023/A:1021410931928>
- Hill, C. M. (2000). Conflict of interest between people and baboons: crop raiding in Uganda. *International Journal of Primatology*, 21 (2), 299–315.
- Hoffman, T. S., & O'Riain, M. J. (2011). The spatial ecology of chacma baboons (*Papio ursinus*) in a human-modified environment. *International Journal of Primatology*, 32, 308–328. <https://doi.org/10.1007/s10764-010-9467-6>
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (2017). Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-de-brasilia> (Acessado Out 2022).
- Jacobson, S. K. (2009). *Communication skills for conservation professionals*, 2nd ed. *Washington, DC: Island Press*. 452p.

- Jacobson, S. K., McDuff, M., Monroe, M. (2006). Conservation education and outreach techniques. Oxford, UK: *Oxford University Press*.
- McLennan, M. R., Spagnoletti, N., & Hockings, K. J. (2017). The implications of primate behavioral flexibility for sustainable human–primate coexistence in anthropogenic habitats. *International Journal of Primatology*, 38, 105–121. <https://doi.org/10.1007/s10764-017-9962-0>
- Oliveira-Filho A. T., & Ratter J. A. (2002). Vegetation physiognomies and woody flora of the cerrado biome. In: P. S. Oliveira, R. J. Marquis (Eds), *The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. *Columbia University Press, New York, USA*, 91–120.
- Sabbatini, G., Stammati, M., Tavares, M. C. H., Giuliani, M. V., Visalberghi, E. (2006). Interactions between humans and capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) in the Parque Nacional de Brasília, Brazil. *Applied Animal Behaviour Science*, 97(2-4), 272-283. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.07.002>
- Sacramento, T. S. (2014). Influência da disponibilidade de alimentos sobre os comportamentos de um grupo de *Sapajus libidinosus* e análise das interações e conflitos entre humanos e macacos-prego no Parque Nacional de Brasília, DF. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- Saito, C. H., Brasileiro, L., Almeida, L. E. D., Tavares, M. C. H. (2010). Conflitos entre macacos-prego e visitantes no Parque Nacional de Brasília: possíveis soluções. *Sociedade & Natureza*, 22, 515-524.
- Siljander, M., Kuronen, T., Johansson, T., Munyao, M. N., & Pellikka, P. K. E. (2020). Primates on the farm – spatial patterns of human– wildlife conflict in forest-agricultural landscape mosaic in Taita hills, Kenya. *Applied Geography*, 117, 102185. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102185>
- Silva, N., Frizzas, M., Oliveira, C. (2011). Seasonality in insect abundance in the “Cerrado” of Goiás State Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 55, 79-87.
- Spagnoletti, N., Visalberghi, E., Verderane, M.P., Ottoni, E., Izar, P., Fragaszy, D. (2012). Stone tool use in wild bearded capuchin monkeys, *Cebus libidinosus*. Is it a strategy to overcome food scarcity?. *Animal Behaviour*, 83(5), 1285-1294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.03.002>
- Valença T., Resende B., Savalli, C. (2021). Human–Wildlife Interactions with Different Species in a Brazilian Park: A Naturalistic Approach, *Anthrozoös*, 34:5, 615-631. doi: <https://doi.org/10.1080/08927936.2021.1914443>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa tese, eu busquei integrar aspectos fisiológicos, ecológicos e comportamentais de um grupo de macacos-prego-amarelos (*Sapajus libidinosus*) e, conseqüentemente, investigar as percepções das pessoas perante esses animais a fim de buscar alternativas para manter o bem-estar dos indivíduos e contribuir para a conservação da espécie. Macacos-prego são animais curiosos e sociáveis, de fácil adaptação a diversos ambientes e pouco intimidados pela presença humana. Recentemente, a espécie estudada foi classificada como “Quase Ameaçada” pela IUCN, o que pode ser considerado um sinal de alerta para o declínio da população devido às ameaças enfrentadas pela destruição de habitat, expansão agrícola, tráfico ilegal, entre outros.

No primeiro estudo, busquei compreender a dinâmica do grupo baseada nos comportamentos individuais e em grupo associados ao estado fisiológico de cada indivíduo. Além disso, descrevi comportamentos não sociais dos animais e confirmei o que estudos anteriores já haviam registrado, de que os macacos-prego-amarelos engajam mais tempo em comportamentos relacionados à alimentação (forragear e comer). Verifiquei que o turno (matutino e vespertino) e o gênero (masculino e feminino) não influenciam em alterações dos níveis de cortisol fecal dos animais. Ademais, comportamentos auto direcionados e afiliativos também não afetam os níveis de cortisol dos indivíduos. Confirmei que comportamentos agonísticos influenciam a elevação dos níveis de cortisol no sangue, tendo um importante e determinante índice de elevação desse hormônio a cada comportamento exibido, independente da identidade do indivíduo e de quem realizou e/ou sofreu. Por fim, avaliei a posição hierárquica de cada indivíduo dentro do grupo e constatei que o ranking do animal não afeta os níveis de cortisol fecal.

No segundo estudo, o objetivo foi analisar a dieta e a relevância ecológica dos macacos-prego por meio da dispersão de sementes ingeridas ao se alimentarem. Conduzi diferentes experimentos de germinação de sementes presentes nas fezes desses animais e identifiquei as espécies vegetais ingeridas. Verifiquei, por meio de análises observacionais, os itens alimentares ingeridos pelos primatas e confirmei a abundância de espécies vegetais consumidas de variados tamanhos. As evidências desse estudo confirmam a importância de um planejamento e ação de manejo uma vez que quase 20% de sua alimentação consistiu em alimentos antropogênicos. Por fim, o estudo dois confirma a necessidade de conservar a espécie para, conseqüentemente, preservar o ameaçado bioma Cerrado.

Por meio de ações educativas, o meu objetivo no terceiro estudo foi conscientizar e sensibilizar os visitantes do Parque Nacional de Brasília, de todas as faixas etárias, sobre a

importância ecológica dos macacos-prego-amarelos na natureza. Informe sobre os possíveis perigos e riscos da aproximação exorbitante e as consequências dessas interações. Com o auxílio de colaboradores, elaboramos materiais educativos e realizamos trilhas guiadas para complementar o nosso objetivo. Visto que o principal estímulo para essas interações entre humanos e primatas é a presença de alimentos trazidos pelos visitantes, o ideal é coibir inicialmente a entrada desses alimentos no parque. O terceiro estudo evidencia a necessidade imprescindível de planos de ações educativas permanentes que envolvam a comunidade visitante do parque para minimizar as interações macacos-humanos ocorridos no Parque Nacional de Brasília.

NOTA DE ESCLARECIMENTO

A coleta de dados dessa tese, a princípio, estava programada para abranger as duas marcantes estações do ano (chuvosa e seca) do Distrito Federal. Todas as amostras fecais e dados comportamentais na estação chuvosa (2019/2020) foram coletados. No entanto, em decorrência da suspensão do funcionamento das instituições em que estavam ocorrendo as coletas de dados, de acordo com o decreto nº 40.539 de 19 de março de 2020 e decretos subsequentes de prorrogação da quarentena, estabelecidos pelo governo do Distrito Federal, as atividades relacionadas à estação seca do presente projeto foram suspensas. O Parque Nacional de Brasília retornou o funcionamento somente no final do ano de 2021. Na esperança (e ingenuidade) de que a situação calamitosa não se estenderia por muito tempo, tentei iniciar a coleta de dados novamente no PNB no início do ano 2022. Retornei ao parque a fim de verificar a possibilidade de retomar as coletas, porém, observei que os primatas haviam mudado a estrutura social do grupo. O macho alfa foi substituído, no qual o anterior, o Rambo, havia sido expulso do grupo, e havia novos integrantes no grupo. Ademais, devido ao tempo para a conclusão do doutorado, seria inviável iniciar, mais uma vez, a habituação dos indivíduos à pesquisadora e realizar os experimentos de germinação das sementes de duração prolongada. Com isso, as coletas de dados foram comprometidas devido à pandemia pelo COVID-19 e inviável a continuação em razão a essas circunstâncias.

Além disso, o laboratório que, inicialmente, seriam realizadas as análises fecais para extração de cortisol a um custo mais acessível foi suspenso. Portanto, foi necessário a implementação de novas medidas para conseguir custear as análises em outro laboratório.

Todos esses fatores contribuíram para um atraso significativo na finalização dessa tese, e resultaram na impossibilidade de concluir a coleta de amostras fecais e comportamentais durante a estação seca no Parque Nacional de Brasília. Consideramos, no entanto, que a análise das amostras coletadas já era suficiente para gerar conclusões pertinentes para a tese, permitindo assim a finalização desta etapa de minha formação.

ANEXOS

Anexo I



Ministério do Meio Ambiente - MMA
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 67127-3	Data da Emissão: 21/10/2019 13:32:23	Data da Revalidação*: 04/06/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Samara De Albuquerque Teixeira	CPF: 022.289.741-45
Título do Projeto: Glicocorticóides Fecais de Sapajus libidinosus (macaco-prego) em Vida-livre e em Cativo	
Nome da Instituição: Fundação Universidade de Brasília	CNPJ: 00.038.174/0001-43

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta de fezes e observações comportamentais	02/2019	07/2022

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	LIA NAHOMI KAJIKI	Auxiliar de campo	355.125.798-19	Brasileira
2	Mariana de Carvalho	Auxiliar de campo	141.019.407-89	Brasileira
3	Kelly Mota Lima	Auxiliar de campo	701.167.811-57	Brasileira
4	Luiza Braga Mendonça	Auxiliar de campo	048.903.381-44	Brasileira
5	Paulo Victor Resende dos Santos	Auxiliar de campo	036.455.221-23	Brasileira
6	MARIA CLOTILDE HENRIQUES TAVARES	Orientadora	498.984.854-34	Brasileira
7	Jéssica Mendes de Souza	Auxiliar de campo	038.879.401-13	Brasileira
8	Gláucia Coutinho Araujo	Auxiliar de campo	043.449.221-31	Brasileira
9	Clara Rayanne Parente Avelino	Auxiliar de campo	069.313.151-96	Brasileira
10	Ana Beatriz Rodrigues Silva	Auxiliar de campo	062.067.231-51	Brasileira
11	Julya da Silva Rodrigues	Auxiliar de campo	060.574.321-50	Brasileira
12	Thales Vinicius Alencar da Cunha	Auxiliar de campo	067.366.901-70	Brasileira
13	Davi Brasil Bentes	Auxiliar de campo	000.070.431-80	Brasileira
14	Paulliny Michelly Gualberto Fernandes Tort	Auxiliar de campo	714.680.721-53	Brasileira
15	Nayara Alves Santos	Auxiliar de campo	139.348.636-39	Brasileira
16	Paola Freitas de Oliveira	Auxiliar de campo	050.758.681-69	Brasileira

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0671270320191021

Página 1/4



Ministério do Meio Ambiente - MMA
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 67127-3	Data da Emissão: 21/10/2019 13:32:23	Data da Revalidação*: 04/06/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Samara De Albuquerque Teixeira	CPF: 022.289.741-45
Título do Projeto: Glicocorticóides Fecais de Sapajus libidinosus (macaco-prego) em Vida-livre e em Cativo	
Nome da Instituição: Fundação Universidade de Brasília	CNPJ: 00.038.174/0001-43

Observações e ressalvas

1	A autorização não eximirá o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador quando as atividades forem realizadas em área de domínio privado ou dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso; II) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; III) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em área indispensável à segurança nacional; IV) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras; V) do Departamento Nacional da Produção Mineral, quando a pesquisa visar a exploração de depósitos fossilíferos ou a extração de espécimes fósseis; VI) do órgão gestor da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, dentre outras.
2	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infraestrutura da unidade.
3	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
4	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
5	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
6	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.
7	Esta autorização NÃO exige o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
8	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/gen .

Outras ressalvas

1	PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA A pesquisadora deverá procurar a Coordenação da Gestão de Pesquisa no Parque Nacional de Brasília, pelo e-mail cibebe.barreto@icmbio.gov.br , antes de iniciar o seu trabalho em campo, e manter contato para troca de informações e orientações.	PARNA DE BRASÍLIA
---	--	-------------------

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0671270320191021

Página 2/4



Ministério do Meio Ambiente - MMA
 Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
 Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 67127-3	Data da Emissão: 21/10/2019 13:32:23	Data da Revalidação*: 04/06/2020
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Samara De Albuquerque Teixeira	CPF: 022.289.741-45
Título do Projeto: Glicocorticóides Fecais de Sapajus libidinosus (macaco-prego) em Vida-livre e em Cativo	
Nome da Instituição: Fundação Universidade de Brasília	CNPJ: 00.038.174/0001-43

Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Descrição do local	Município-UF	Bioma	Caverna?	Tipo
1	PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA	DF	Cerrado	Não	Dentro de UC Federal
2	Fazenda Água Limpa - Centro de Primatologia	Brasília-DF	Cerrado	Não	Dentro de UC Estadual

Atividades

#	Atividade	Grupo de Atividade
1	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Dentro de UC Federal
2	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Dentro de UC Federal

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
1	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Sapajus libidinosus	-
2	Observação e gravação de imagem ou som de táxon em UC federal	Sapajus libidinosus	-

Materiais e Métodos

#	Tipo de Método (Grupo taxonômico)	Materiais
1	Amostras biológicas (Primatas)	Fezes

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	Fundação Universidade de Brasília	Laboratório

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0671270320191021

Página 3/4

