



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE ANIMAL

FATORES DETERMINANTES DA FREQUÊNCIA DE INFECÇÃO POR  
*Toxoplasma gondii* EM PRIMATAS NEOTROPICAIS

MÔNICA DE ABREU ELIAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
EM SAÚDE ANIMAL

BRASÍLIA/DF  
AGOSTO/2020



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE ANIMAL

FATORES DETERMINANTES DA FREQUÊNCIA DE INFECÇÃO POR  
*Toxoplasma gondii* EM PRIMATAS NEOTROPICAIS

MÔNICA DE ABREU ELIAS  
ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO ISMAR SILVA SANTANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SAÚDE ANIMAL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MEDICINA PREVENTIVA E PATOLOGIA PREVENTIVA  
LINHA DE PESQUISA: EPIDEMIOLOGIA, PREVENÇÃO E CONTROLE DE DOENÇAS  
DOS ANIMAIS E GESTÃO DOS RISCOS PARA A SAÚDE PÚBLICA

PUBLICAÇÃO: 171/2020

BRASÍLIA/DF  
AGOSTO/2020

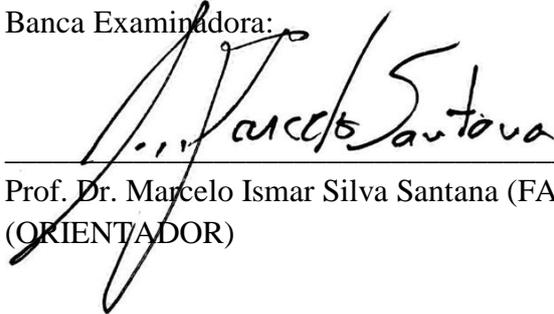
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FATORES DETERMINANTES DA FREQUÊNCIA DE INFECÇÃO POR  
*Toxoplasma gondii* EM PRIMATAS NEOTROPICAIS

MÔNICA DE ABREU ELIAS

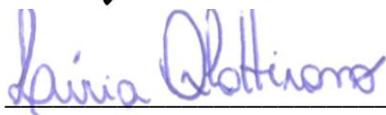
Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Animal, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Saúde Animal.

Banca Examinadora:



---

Prof. Dr. Marcelo Ismar Silva Santana (FAV – UnB)  
(ORIENTADOR)



---

Liria Queiroz Luz Irano (FAV – UnB)  
(EXAMINADOR INTERNO)



---

Marina Galvão Bueno (FIOCRUZ – RJ)  
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 14 de agosto de 2020

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E CATALOGAÇÃO

ELIAS, M. A. Fatores determinantes da frequência de infecção por *Toxoplasma gondii* em primatas neotropicais. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 65 p. Dissertação de Mestrado.

Documento formal, autorizando reprodução desta dissertação de mestrado para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pelo autor à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Secretaria do Programa. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

## FICHA CATALOGRÁFICA

dE42f	<p>de Abreu Elias, Mônica</p> <p>Fatores determinantes da frequência de infecção por <i>Toxoplasma gondii</i> em primatas neotropicais / Mônica de Abreu Elias; orientador Marcelo Ismar Silva Santana. -- Brasília, 2020.</p> <p>64 p.</p> <p>Dissertação (Mestrado - Mestrado em Saúde Animal) -- Universidade de Brasília, 2020.</p> <p>1. Zoonose. 2. Toxoplasmose. 3. anti-T. gondii. 4. Primatas. 5. Saúde Única. I. Ismar Silva Santana, Marcelo, orient. II. Título.</p>
-------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Dedico esse trabalho à Dandara,  
minha principal motivação.*

## AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram, direta ou indiretamente, para a conclusão desse trabalho. A todas essas pessoas, expresso meus profundos agradecimentos.

Sou imensamente grata a Louise Maranhão pela dedicação e seriedade pela profissão, pelas ideias, conversas e grande suporte e ao Marcelo Ismar Santana pelo aceite em me orientar, pelo acolhimento num momento tão complicado e por ter acreditado nesse projeto. Ao Herbert Soares pela disposição em ensinar, paciência e comprometimento. Sem vocês esse trabalho não seria concluído.

Ao Instituto de Desenvolvimento Mamirauá com apoio do ICMBio e especialmente João Valsecchi por ter facilitado a expedição onde essas amostras foram coletadas e por ter cedido as mesmas para que esse trabalho fosse realizado. À equipe multidisciplinar que realizou as expedições e colheu o material. Ao Departamento de Medicina Veterinária e Saúde Animal (VPS) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ-USP) por disponibilizar o laboratório para os testes diagnósticos. Agradeço a coordenação do Programa de Pós Graduação em Saúde Animal-UnB pela oportunidade, atenção e compreensão, especialmente a Ludmilla L. Guedes (nossa Lud) por ser tão prestativa, sempre nos receber com tanto carinho e estar sempre disposta a nos ajudar. A todos os professores pelos ensinamentos.

À minha família por estar sempre ao meu lado, sendo meu ponto de equilíbrio e suporte, por me apoiar e acreditar no meu potencial, por dar a base de toda minha formação pessoal e profissional e pelo amor acima de tudo. Em especial ao meu companheiro, Rafael, por estar ao meu lado nessa jornada, por estar junto e encarar tudo de frente, de mãos dadas; pelo incentivo, paciência e calma nas horas de “tempestade”. Sem você essa fase teria sido muito mais difícil. À nossa filha Dandara, que mesmo dentro da minha barriga, já é tão presente, por me fazer querer ser uma pessoa melhor. Ficam aqui meus agradecimentos!

Obrigado a todos amigos que contribuíram com conversas sobre esse trabalho e com os momentos de descontração.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida durante os dois anos de curso.

*“Conservation medicine holds the promise that  
by integrating our knowledge of pathogens [...]  
with our knowledge of ecology,  
society can avoid disasters [...] in the future  
and begin to evolve toward a more mature relationship  
with living nature.”*

Michael Soulé

## Resumo

A toxoplasmose é uma zoonose globalmente relevante que pode afetar a saúde de humanos, animais domésticos, animais silvestres e ecossistemas. Os primatas neotropicais são altamente suscetíveis à toxoplasmose e representam um importante grupo sentinela dessa zoonose. Esse estudo foi dividido em 2 capítulos. No capítulo I investigou-se a soroprevalência de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em populações de primatas de vida livre da Amazônia Central, utilizando 35 amostras de soro, as quais foram negativas para anticorpos anti-*T. gondii* em todas as diluições. As sorologias negativas para esses primatas podem sugerir que essas populações não tiveram contato com o parasito, embora a baixa amostragem de indivíduos por espécies possa ter impedido estimativas precisas da prevalência nessas populações. Associado a essa investigação, no capítulo II, foi realizada uma revisão quantitativa sobre a prevalência de *T. gondii* em primatas neotropicais. Foi avaliado como a frequência de infecção varia em função de fatores taxonômicos, da condição dos animais (cativeiro/vida livre), do nível de conhecimento sobre os gêneros de primatas e da cobertura florestal na paisagem. Foi observado que existe grande variação taxonômica na prevalência de *T. gondii*, a qual pode ser explicada por processos evolutivos, imunológicos, ecológicos e comportamentais das espécies. Além disso, parte dessa variação na prevalência é ocasionada por uma amostragem taxonômica assimétrica, onde os padrões de suscetibilidade à infecção são melhor compreendidos para os grupos de primatas melhor estudados. De forma geral, a prevalência em primatas de cativeiro é maior e mais variável, mas características específicas dos grupos taxonômicos podem amenizar esse padrão. Por fim, demonstramos como a perda de cobertura florestal na paisagem pode aumentar a frequência de infecção por *T. gondii* em populações de primatas de vida livre. Ainda há muitas incertezas no entendimento da complexa dinâmica de interação entre *T. gondii* e os primatas. Esse estudo demonstra a importância e a necessidade de levantamentos parasitológicos para compreender a interação entre parasitas, hospedeiros e o ambiente, a fim de antecipar potenciais riscos para a saúde humana, animal e ecossistêmica.

## **Abstract**

Toxoplasmosis is a globally relevant zoonosis that can affect the health of humans, domestic animals, wild animals and ecosystems. Neotropical primates are highly susceptible to toxoplasmosis and represent an important sentinel group for this zoonosis. This study was divided into two chapters. In chapter I, the seroprevalence of antibodies anti-*Toxoplasma gondii* was investigated in free-ranging primate populations in Central Amazonia, using 35 serum samples which were negative for antibodies anti-*T. gondii* in all dilutions. Negative serologies for these primates may suggest that these populations did not have contact with the parasite, although the low sampling of individuals per species may have prevented accurate estimates of the prevalence in these populations. Associated with this investigation, in the chapter II, a quantitative review was carried out on the prevalence of *T. gondii* in Neotropical primates. It was evaluated how the frequency of infection varies as a function of taxonomic groups, of animal condition (captive/free-ranging), of level of knowledge about the primate genera and of forest cover in the landscape. It was observed that there is a large taxonomic variation in the prevalence of *T. gondii*, which can be explained by evolutionary, immunological, ecological and behavioral processes of the species. In addition, some of this variation in the prevalence is caused by an asymmetric taxonomic sampling, in which the patterns of susceptibility to infection are better understood for best-studied groups of primates. In general, prevalence in captive primates is higher and more variable, but specific characteristics of taxonomic groups can mitigate this pattern. Finally, we demonstrate how forest cover loss in the landscape can increase the frequency of infection by *T. gondii* in free-ranging primate populations. There are still many uncertainties in understanding the complex interaction dynamics between *T. gondii* and primates. This study demonstrates the importance and the need for parasitological surveys to understand the interaction between parasites, hosts and the environment, in order to anticipate potential risks to human, animal and ecosystem health.

## Lista de Figuras

### Capítulo I.

**Figura 1. Localização das Unidades de Conservação (UCs) onde foram realizadas as coletas de amostras biológicas para esse estudo. ....11**

### Capítulo II.

**Figura 2. Localização dos estudos sobre a frequência de *T. gondii* em primatas neotropicais de vida livre. ....36**

**Figura 3. Número de populações estudadas sobre a prevalência de *T. gondii* por gênero e por condição (cativeiro/vida livre).. ....37**

**Figura 4. Variação taxonômica e filogenética da frequência de *T. gondii* em primatas neotropicais em cativeiro e vida livre.. ....38**

**Figura 5. Efeito do nível de conhecimento sobre o gênero na sua prevalência média de *T. gondii*.. ....39**

**Figura 6. Variação da frequência de infecção por *T. gondii* em primatas neotropicais de cativeiro e vida livre por gênero (A-E) e família (F-I).....40**

**Figura 7. Efeito da porcentagem de cobertura florestal na paisagem na frequência de *T. gondii* em primatas vida livre.....41**

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>Capítulo I. – Soroprevalência negativa para <i>Toxoplasma gondii</i> em primatas de vida livre da Amazônia Central.</b> .....	2
RESUMO .....	3
INTRODUÇÃO .....	4
MATERIAL E MÉTODOS .....	4
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	5
REFERÊNCIAS .....	8
<b>Capítulo II. – Fatores determinantes da prevalência de <i>Toxoplasma gondii</i> em primatas neotropicais: uma revisão quantitativa em escala continental.</b> .....	12
RESUMO .....	14
INTRODUÇÃO .....	15
MÉTODOS .....	18
RESULTADOS .....	19
DISCUSSÃO .....	21
REFERÊNCIAS .....	29
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	42
<b>ANEXO A – MATERIAL SUPLEMENTAR DO MANUSCRITO EM PREPARAÇÃO PARA <i>EcoHealth</i></b> .....	43

## INTRODUÇÃO GERAL

A toxoplasmose é uma doença parasitária causada pelo protozoário *Toxoplasma gondii*. Os hospedeiros definitivos do parasita são os felinos domésticos e silvestres, que podem excretar oocistos do protozoário pelas fezes no ambiente (Montoya e Liesenfeld, 2004). Os oocistos presentes no solo, água e vegetais são ingeridos por outros animais (aves e mamíferos domésticos e silvestres, além de humanos), e se desenvolvem em taquizoítos, os quais invadem diversos tecidos de seus hospedeiros intermediários. O ciclo é concluído quando os tecidos de um hospedeiro intermediário são consumidos por felinos, e a reprodução sexuada volta a produzir oocistos no hospedeiro definitivo. A toxoplasmose é considerada um problema de saúde pública globalmente relevante, e estima-se que 60–80% das pessoas estejam infectadas em países da América Latina (Pappas, Roussos e Falagas, 2009). Por esses motivos, essa zoonose está relacionada ao conceito de Saúde Única, pois afeta significativamente a saúde de humanos, animais domésticos, animais silvestres e ecossistemas, e é percebida como uma ameaça para populações humanas que dependem de recursos animais (Jenkins *et al.*, 2015).

Os animais silvestres possuem um papel fundamental na manutenção de parasitos causadores de zoonoses na natureza. Os primatas neotropicais são considerados altamente suscetíveis à toxoplasmose (Innes, 1997), embora exista certa variação na sensibilidade à infecção entre grupos taxonômicos (Catão-Dias, Epiphanyo e Kierulff, 2013). Portanto, os primatas não-humanos representam um importante grupo sentinela de zoonoses de interesse para a saúde pública (Wolfe *et al.*, 1998), tais como a toxoplasmose. Nesse contexto, os objetivos desse estudo foram investigar os principais fatores determinantes da frequência de infecção por *T. gondii* em primatas neotropicais. O Capítulo I apresenta os resultados de um levantamento sorológico da prevalência de toxoplasmose em populações de primatas de vida livre da Amazônia Central. No Capítulo II, os resultados desse levantamento foram integrados em um banco de dados mais abrangente, com o objetivo de realizar uma revisão quantitativa sobre a frequência de infecção por *T. gondii* em primatas neotropicais. Nessa revisão, avaliou-se como a prevalência varia em função de fatores filogenéticos, da condição de cativeiro/vida livre, do nível de conhecimento sobre os grupos de primatas e da cobertura florestal na paisagem.

## Capítulo I.

---

### **Soroprevalência negativa para *Toxoplasma gondii* em primatas de vida livre da Amazônia Central**

Manuscrito formatado para a revista *Journal of Medical Primatology*.

**SHORT PAPER****Soroprevalência negativa para *Toxoplasma gondii* em primatas de vida livre da Amazônia Central**

Título curto: **Soroprevalência negativa para toxoplasmose em primatas Amazônicos**

Mônica de Abreu Elias<sup>1\*</sup>, Marcelo Ismar Silva Santana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Saúde Animal, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

\*E-mail: mo.elias@hotmail.com

**RESUMO**

Esse estudo apresenta sorologias negativas para anticorpos anti-*T. gondii* de 35 indivíduos de primatas de vida livre da Amazônia Central. Esse resultado sugere que essas populações não tiveram contato com o parasito e, por isso, não possuem anticorpos, embora a baixa amostragem possa ter impedido estimativas precisas da prevalência nessas populações.

**Palavras-chave:** macacos, aglutinação direta modificada, toxoplasmose, Saúde Única.

## INTRODUÇÃO

A toxoplasmose é uma zoonose parasitária causada pelo protozoário *Toxoplasma gondii*. Os hospedeiros definitivos do protozoário são felinos domésticos e silvestres, que podem excretar oocistos do protozoário com as fezes no ambiente.<sup>1</sup> Os oocistos presentes no solo, água e vegetais são ingeridos por outros animais (aves e mamíferos domésticos e silvestres) e se desenvolvem nos tecidos neural e muscular de seus hospedeiros intermediários. A toxoplasmose é considerada um problema de saúde pública globalmente relevante, e estima-se que 60–80% das pessoas estejam infectadas em países da América Latina.<sup>2,3</sup> Por esses motivos, essa zoonose se qualifica como uma doença da Saúde Única, pois afeta significativamente a saúde de humanos, animais domésticos, animais silvestres e ecossistemas.<sup>4</sup>

Os animais silvestres possuem um papel fundamental na manutenção de zoonoses na natureza. Dessa forma, a investigação epidemiológica de zoonoses em populações de animais selvagens pode auxiliar no entendimento e no alerta à disseminação dessas doenças.<sup>5</sup> Os primatas do novo mundo são considerados altamente susceptíveis à toxoplasmose, comparados aos primatas do velho mundo.<sup>6</sup> Diversos estudos encontraram a presença de anticorpos anti-*T. gondii* em primatas de vida livre,<sup>7-9</sup> inclusive na Amazônia.<sup>10,11</sup> Dessa forma, os primatas não-humanos representam um importante grupo sentinela de zoonoses de interesse para a saúde pública,<sup>12</sup> tais como a toxoplasmose. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi realizar um levantamento sorológico da prevalência de toxoplasmose em populações de primatas de vida livre da Amazônia Central.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com amostras biológicas de primatas de vida livre, provenientes de cinco Unidades de Conservação (UCs) da Amazônia Central: Reserva Extrativista do Baixo Juruá, Reserva Extrativista Auati-Paraná, Reserva Extrativista do Rio Jutuí, Estação Ecológica Juami-Japurá e Estação Ecológica Jutuí-Solimões (Fig. 1). Essas Unidades de Conservação integram um grande bloco de floresta tropical protegido que fazem parte da Reserva da Biosfera da Amazônia Central (MaB/UNESCO).

As amostras biológicas foram coletadas entre os anos de 2014 e 2018, por uma equipe de biólogos e veterinários, que realizou diversas expedições científicas na região. Foram coletadas amostras biológicas (soro sanguíneo) de 35 indivíduos de 10 gêneros de primatas amazônicos de vida livre (Tab. 1). O procedimento de coleta das amostras foi previamente aprovado pelo Comitê de Ética do Instituto Mamirauá (CEUAP-IDSMM #003/14) e autorizado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio; SISBIO #42111-1 – 42111-6).

Os soros das amostras foram testados para anticorpos anti-*T. gondii* com a técnica de Aglutinação Direta Modificada – MAT.<sup>13</sup> Primeiramente, foi realizado um exame de triagem dos soros nas diluições de 1:25, 1:50 e 1:500. Aqueles que apresentaram dúvidas na interpretação da aglutinação, na diluição de 1:25, foram reexaminados nas diluições de 1:10, 1:20 e 1:40. Os títulos dos soros foram determinados pela maior diluição que apresentar aglutinação. O ponto de corte estabelecido em título  $\geq 25$  indica uma infecção passada por *T. gondii*.<sup>14</sup> Soros controles, positivos e negativos, também foram incluídos em cada teste.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas 35 amostras de soro foram negativas para anticorpos anti-*T. gondii* em todas as diluições. Os primatas neotropicais são considerados altamente suscetíveis à toxoplasmose,<sup>6</sup> embora exista grande variação na suscetibilidade da doença entre grupos taxonômicos.<sup>15</sup> Os sauins (Callithrichidae), por exemplo, são os primatas mais sensíveis à infecção e, quando entram em contato com o parasita, desenvolvem quadro clínico hiperagudo da doença, com mortalidade próxima a 100%.<sup>15</sup> Portanto, é possível que as sorologias negativas encontradas para os sauins sejam resultado da alta sensibilidade dessas espécies, as quais podem ter tido contato com o parasita e ter morrido antes de desenvolver uma resposta imune.<sup>16</sup> Outra possibilidade é que os calitriquídeos não tenham tido contato com o parasita. As espécies desse grupo dificilmente descem ao chão, nem mesmo para beber água<sup>17</sup> e, portanto, apresentam menores chances de se infectar com oocistos presentes no solo ou na água.

Por outro lado, atelídeos e cebídeos, principalmente *Sapajus*, possuem menor sensibilidade à infecção, e podem apresentar quadro clínico leve com baixa mortalidade, portanto, a prevalência nesses grupos tende a ser maior.<sup>15</sup> Além disso, essas espécies

apresentam comportamento bastante generalista, o que pode aumentar as chances de infecção. Os bugios, por exemplo, descem frequentemente ao chão para ingerir solo para suplementar a dieta com minerais<sup>18</sup> e, eventualmente, podem consumir ovos de aves,<sup>19</sup> os quais são uma potencial fonte de infecção.<sup>20</sup> Da mesma forma, os macacos-prego frequentemente forrageiam no chão<sup>21</sup> e possuem uma dieta bastante generalista, podendo inclusive se alimentar de pequenos vertebrados,<sup>22</sup> os quais também são potenciais fontes de infecção por *T. gondii*. Portanto, as sorologias negativas para essas espécies podem sugerir que essas populações não tiveram contato com o parasito e, por isso, não possuem anticorpos anti-*T. gondii*.

Em um contexto de Saúde Única, a infecção por *T. gondii* em primatas representa um risco direto para a saúde humana, especialmente para as populações tradicionais da Amazônia Central, para as quais os primatas podem ser uma fonte importante de proteína.<sup>23</sup> Além disso, primatas infectados também podem afetar a saúde de seus predadores naturais, os grandes felinos, que são os hospedeiros definitivos do parasita e exercem um papel essencial na manutenção e estabilidade dos ecossistemas.<sup>24</sup> Esse estudo não encontrou evidências de que as populações de primatas da região tenham tido contato com o parasita, embora a baixa amostragem de indivíduos por espécie (1-4 indivíduos) possa ter resultado em estimativas imprecisas da prevalência de *T. gondii* nessas populações. Além disso, esse estudo foi o primeiro a levantar dados sobre a prevalência de *T. gondii* em espécies de primatas pouco investigadas (e.g., *Cacajao*, *Callicebus*, *Pithecia*, *Saguinus*) e em uma região com grandes lacunas de amostragem, tal como a Amazônia Central. Reforçamos a importância e a necessidade de novos levantamentos parasitológicos para compreender melhor a interação entre *T. gondii* e os primatas, de forma a prever potenciais riscos para a saúde humana e animal na região.

## **AGRADECIMENTOS**

Esse estudo foi financiado pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (IDSM-OS/MCTI) e pela Gordon and Betty Moore Foundation. A coleta das amostras foi aprovada pelo Comitê de Ética do Instituto Mamirauá (CEUAP-IDSM #003/14) e autorizado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio; SISBIO #42111-1 – 42111-6). Agradecemos o suporte logístico do Instituto Mamirauá com apoio do ICMBio.

**REFERÊNCIAS**

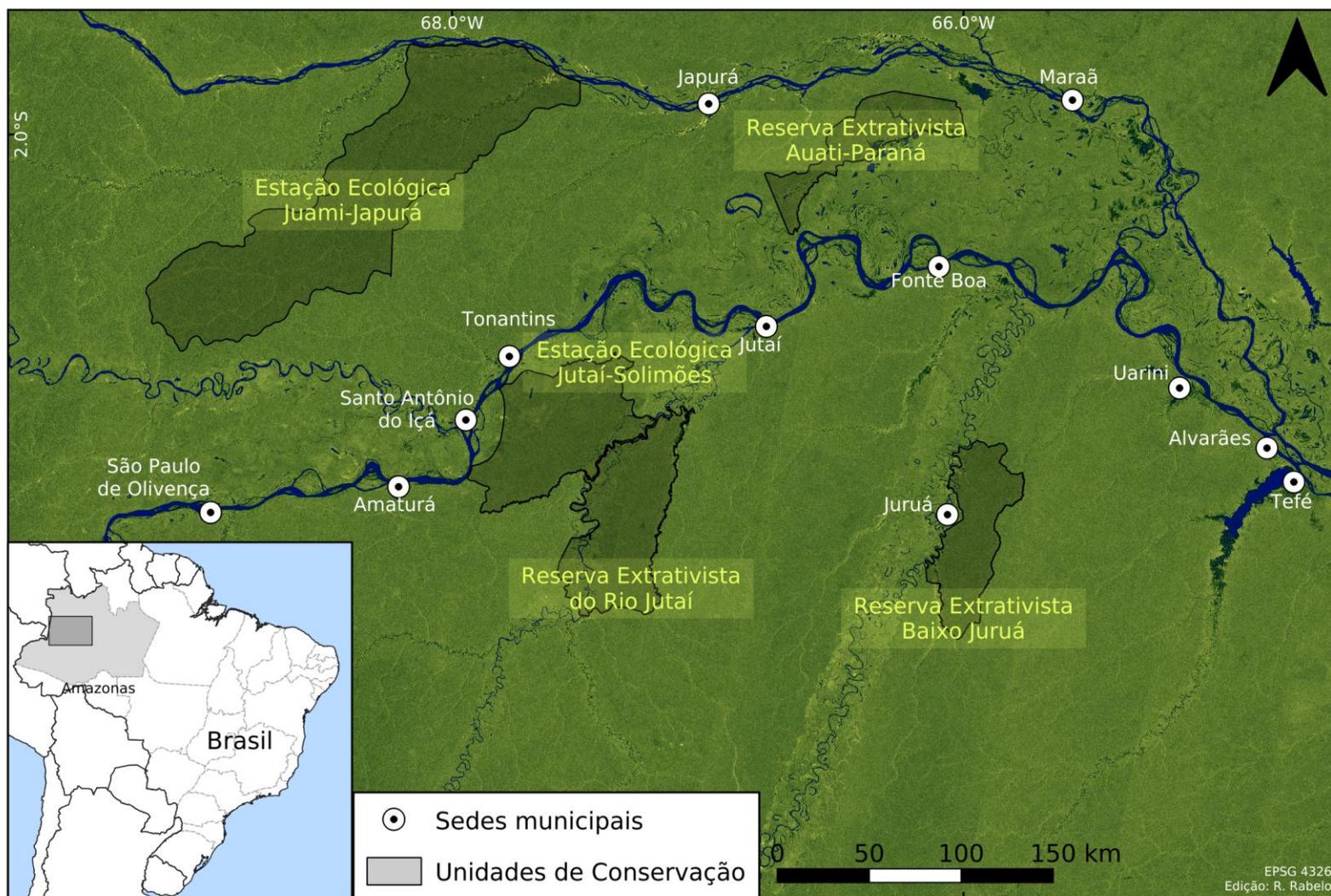
1. Montoya JG, Liesenfeld O. Toxoplasmosis. *Lancet*. 2004;363:1965-1976.
2. Pappas G, Roussos N, Falagas ME. Toxoplasmosis snapshots: Global status of *Toxoplasma gondii* seroprevalence and implications for pregnancy and congenital toxoplasmosis. *Int J Parasitol*. 2009;39(12):1385-1394. doi:10.1016/j.ijpara.2009.04.003.
3. Dubey JP, Lago EG, Gennari SM, Su C, Jones JL. Toxoplasmosis in humans and animals in Brazil: high prevalence, high burden of disease, and epidemiology. *Parasitology*. 2012;139(11):1375-1424. doi:10.1017/S0031182012000765.
4. Jenkins EJ, Simon A, Bachand N, Stephen C. Wildlife parasites in a One Health world. *Trends Parasitol*. 2015;31(5):174-180. doi:10.1016/j.pt.2015.01.002.
5. Rabinowitz P, Scotch M, Conti L. Human and animal sentinels for shared health risks. *Vet Ital*. 2009;45(1):23-24.
6. Innes EA. Toxoplasmosis: comparative species susceptibility and host immune response. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*. 1997;20(2):131-138.
7. Garcia JL, Svododa WK, Chryssafidis AL, et al. Sero-epidemiological survey for toxoplasmosis in wild New World monkeys (*Cebus* spp.; *Alouatta caraya*) at the Paraná river basin, Paraná State, Brazil. *Vet Parasitol*. 2005;133:307-311. doi:10.1016/j.vetpar.2005.06.004.
8. Molina CV, Catão-Dias JL, Ferreira Neto JS, et al. Sero-epidemiological survey for brucellosis, leptospirosis, and toxoplasmosis in free-ranging *Alouatta caraya* and *Callithrix penicillata* from São Paulo State, Brazil. *J Med Primatol*. 2014;43:197-201. doi:10.1111/jmp.12112.
9. Bueno MG, Catão-dias JL, Laroque P, et al. Infectious Diseases in Free-Ranging Blonde Capuchins, *Sapajus flavius*, in Brazil. *Int J Primatol*. 2017;38(6):1017-1031. doi:10.1007/s10764-017-9994-5.
10. Ferraroni JJ, Marzochi MC de A. Prevalência da infecção pelo *Toxoplasma gondii* em animais domésticos, silvestres e grupamentos humanos da Amazônia. *Mem Inst Oswaldo Cruz*. 1980;75:99-109.

11. Thoisy B de, Vogel I, Reynes J-M, et al. Health evaluation of translocated free-ranging primates in French Guiana. *Am J Primatol*. 2001;54:1-16.
12. Wolfe ND, Escalante AA, Karesh WB, Kilbourn A, Spielman A, Lal AA. Wild Primate Populations in Emerging Infectious Disease Research: The Missing Link? *Emerg Infect Dis*. 1998;4(2):149-158.
13. Dubey JP, Desmonts G. Serological responses of equids fed *Toxoplasma gondii* oocysts. *Equine Vet J*. 1987;19(4):337-339.
14. Dubey JP, Lappin MR, Thulliez P. Long-term antibody responses of cats fed *Toxoplasma gondii* tissue cysts. *J Parasitol*. 1995;81(6):887-893.
15. Catão-Dias JL, Epiphany S, Kierulff MCM. Neotropical primates and their susceptibility to *Toxoplasma gondii*: new insights for an old problem. In: Brinkworth JF, Pechenkina K, eds. *Primates, Pathogens, and Evolution*. New York: Springer; 2013:253-289.
16. Molina CV, Krawczak F da S, Bueno MG, et al. Negative serosurvey of *Toxoplasma gondii* antibodies in Golden-headed Lion Tamarin (*Leontopithecus chrysomelas*) from Niterói/RJ, Brazil. *Brazilian J Vet Parasitol*. 2017;26:115-118. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612016069>.
17. Ferrari SF, Hilário RR. Use of water sources by buffy-headed marmosets (*Callithrix flaviceps*) at two sites in the Brazilian Atlantic Forest. *Primates*. 2012;53:65-70. doi:10.1007/s10329-011-0277-z.
18. Ferrari SF, Veiga LM, Urbani B. Geophagy in New World monkeys (Platyrrhini): Ecological and geographic patterns. *Folia Primatol*. 2008;79:402-415. doi:10.1159/000141901.
19. Bicca-Marques JC, Silveira IRRI, de Souza Martins L, Rabelo RM. Artificial nest predation by brown howler monkeys (*Alouatta guariba clamitans*). *Eur J Wildl Res*. 2014;60:109-112. doi:10.1007/s10344-013-0756-1.
20. Pande PG, Shukla RR, Sekariah PC. *Toxoplasma* from the eggs of the Domestic Fowl (*Gallus gallus*). *Science*. 1960;133(5):648.
21. Ottoni EB, Izar P. Capuchin monkey tool use: Overview and implications. *Evol Anthropol*. 2008;17(4):171-178. doi:10.1002/evan.20185.

22. Resende BD, Greco VLG, Ottoni EB, Izar P. Some observations on the predation of small mammals by Tufted capuchin Monkeys (*Cebus apella*). *Neotrop Primates*. 2003;11(2):103-104.
23. Pereira PM, Valsecchi J, Queiroz HL. Spatial patterns of primate hunting in riverine communities in Central Amazonia. *Oryx*. 2019;53(1):165-173.  
doi:10.1017/S0030605317000199.
24. Ripple WJ, Estes JA, Beschta RL, et al. Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science*. 2014;343:1241484.  
doi:10.1126/science.1241484.

**Tabela 1.** Espécimes amostrados por espécie e por área protegida, com a indicação de número de indivíduos testados.

Localidade	Long	Lat	Família	Espécie	positivos/ testados
Estação Ecológica	-68,36229	-2,23376	Atelidae	<i>Alouatta</i> sp.	0/1
Juami-Japurá			Atelidae	<i>Lagothrix lagotricha</i>	0/2
			Callithrichidae	<i>Saguinus fuscicollis</i>	0/1
			Pitheciidae	<i>Callicebus torquatus</i>	0/1
			Pitheciidae	<i>Pithecia hirsuta</i>	0/1
Estação Ecológica	-67,59004	-3,14584	Atelidae	<i>Alouatta seniculus</i>	0/1
Jutai-Solimões			Atelidae	<i>Ateles chamek</i>	0/2
			Callithrichidae	<i>Saguinus fuscicollis</i>	0/1
			Cebidae	<i>Sapajus</i> sp.	0/1
			Pitheciidae	<i>Callicebus cupreus</i>	0/1
Reserva Extrativista	-66,37775	-2,02508	Atelidae	<i>Alouatta juara</i>	0/2
Auati-Paraná			Atelidae	<i>Lagothrix</i> sp.	0/1
			Callithrichidae	<i>Saguinus</i> sp.	0/4
			Cebidae	<i>Saimiri cassiquiarensis</i>	0/1
			Cebidae	<i>Saimiri</i> sp.	0/1
			Pitheciidae	<i>Pithecia hirsuta</i>	0/1
Reserva Extrativista	-65,96428	-3,54779	Atelidae	<i>Alouatta seniculus</i>	0/1
Baixo Juruá			Atelidae	<i>Ateles chamek</i>	0/1
			Atelidae	<i>Lagothrix cana</i>	0/1
			Cebidae	<i>Saimiri macrodon</i>	0/1
Reserva Extrativista	-67,32680	-3,50611	Atelidae	<i>Lagothrix</i> sp.	0/2
do Rio Jutai			Callithrichidae	<i>Saguinus mystax</i>	0/1
			Cebidae	<i>Cebus albifrons</i>	0/1
			Cebidae	<i>Saimiri macrodon</i>	0/1
			Cebidae	<i>Sapajus macrocephalus</i>	0/1
			Pitheciidae	<i>Cacajao calvus</i>	0/2
			Pitheciidae	<i>Pithecia</i> sp.	0/1



**Figura 1.** Localização das Unidades de Conservação (UCs) onde foram realizadas as coletas de amostras biológicas para esse estudo.

## Capítulo II.

---

**Fatores determinantes da prevalência de  
*Toxoplasma gondii* em primatas neotropicais:  
uma revisão quantitativa em escala continental**

Manuscrito formatado para a revista *EcoHealth*.

**ORIGINAL CONTRIBUTION****Fatores determinantes da prevalência de *Toxoplasma gondii* em primatas neotropicais: uma revisão quantitativa em escala continental**

Mônica de Abreu Elias<sup>1</sup>, Marcelo Ismar Silva Santana<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Saúde Animal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

<sup>2</sup> Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

**Autor correspondente:** Mônica de Abreu Elias, e-mail: mo.elias@hotmail.com

**Contagem de palavras:** 5441 palavras.

**Palavras-chave:** Doenças infecciosas emergentes, Meta-análise, Mudanças ambientais antrópicas, Primatas, Cativoiro, Toxoplasmose, Zoonoses

**AGRADECIMENTOS:** Esse estudo foi financiado pelo Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

## RESUMO

A toxoplasmose é uma zoonose globalmente relevante que pode afetar a saúde de humanos, animais domésticos, animais silvestres e ecossistemas. Alguns grupos de primatas neotropicais, como os calitriquídeos, são altamente susceptíveis à toxoplasmose e representam um importante grupo sentinela dessa zoonose. Esse estudo apresenta uma revisão quantitativa sobre a prevalência de *Toxoplasma gondii* em primatas neotropicais. Avaliamos como a frequência de infecção varia em função de fatores filogenéticos, da condição de cativeiro/vida livre, do nível de conhecimento sobre os gêneros de primatas e da cobertura florestal na paisagem. Existe grande variação taxonômica na prevalência de *T. gondii*, a qual pode ser explicada por questões evolutivas, imunológicas, ecológicas e comportamentais das espécies. Além disso, parte dessa variação é ocasionada por uma amostragem taxonômica assimétrica, onde os padrões de suscetibilidade à infecção são melhor compreendidos para os grupos de primatas melhor estudados. De forma geral, a prevalência em primatas de cativeiro é maior e mais variável, mas características específicas dos grupos taxonômicos podem quebrar esse padrão. Por fim, demonstramos como a perda de cobertura florestal na paisagem pode aumentar a frequência de infecção por *T. gondii* em populações de primatas livre. Ainda há muitas incertezas no entendimento da complexa dinâmica de interação entre *T. gondii* e os primatas. Esse estudo demonstra a importância e a necessidade de levantamentos parasitológicos para compreender a interação entre parasitas, hospedeiros e o ambiente, a fim de antecipar potenciais riscos para a saúde humana, animal e ecossistêmica.

## INTRODUÇÃO

Zoonoses são doenças infecciosas naturalmente transmitidas de animais vertebrados para humanos. A emergência de zoonoses se dá quando ocorre um desequilíbrio na relação entre a saúde humana, animal e ecossistêmica (Aguirre et al. 2002), relação essa que é discutida no âmbito interdisciplinar da Saúde Única (*One Health*, em inglês; Nicole 2014). Identificar as causas específicas para esses desequilíbrios pode ser complexo, principalmente por conta da ausência de dados necessários para estabelecer as ligações entre os fatores ambientais e a saúde humana, animal e da vida silvestre (Weinhold 2003). É intuitivo pensar no crescimento populacional humano e na degradação ambiental ocasionada pelas atividades antrópicas, como o principal fator determinante da emergência de zoonoses, uma vez que promove maior contato entre humanos e animais domésticos e silvestres. Essa proximidade, por sua vez, afeta a ecologia das doenças, aumentando a transmissão dos patógenos entre esses grupos (Daszak et al. 2000; Cook e Karesh 2008). Por conta disso, muitas zoonoses vêm sendo globalmente reconhecidas como problemas de grande relevância para a saúde pública (Bengis et al. 2004; Marvulo 2007).

A toxoplasmose é uma doença parasitária zoonótica causada pelo protozoário *Toxoplasma gondii*. Seus hospedeiros definitivos são os felinos domésticos e silvestres, que podem excretar oocistos do protozoário pelas fezes no ambiente (Montoya e Liesenfeld 2004). Os oocistos presentes no solo, água e vegetais são ingeridos por outros animais (aves e mamíferos domésticos e silvestres, além de humanos), e se desenvolvem em taquizoítos, os quais invadem diversos tecidos de seus hospedeiros intermediários, podendo causar a doença conhecida como toxoplasmose. O ciclo é concluído quando os tecidos de um hospedeiro intermediário são consumidos por felinos, e a reprodução sexuada volta a produzir oocistos no hospedeiro definitivo. A toxoplasmose é considerada um problema de saúde pública globalmente relevante, e estima-se que 60–80% das pessoas (Pappas et al. 2009; Dubey et al. 2012), 29-45% dos gatos domésticos e 41-91% dos felinos silvestres (Montezori et al. 2020) estejam infectadas em países da América Latina. Por esses motivos, essa zoonose se qualifica como uma doença da Saúde Única, pois afeta significativamente a saúde de humanos, animais domésticos, animais silvestres e ecossistemas, e é percebida como uma ameaça para populações humanas que dependem de recursos animais (Jenkins et al. 2015).

Os animais silvestres possuem um papel fundamental na manutenção de zoonoses na natureza e a investigação epidemiológica em populações de animais selvagens pode auxiliar no entendimento e no alerta à disseminação dessas doenças (Rabinowitz et al. 2009). Para um parasita, sua transmissão entre hospedeiros filogeneticamente relacionados representa uma oportunidade de ocorrer em novos ambientes, onde a manutenção do ciclo parasitário permanece possível. Nesse contexto, primatas humanos e não-humanos compartilham características fisiológicas e genéticas similares e, portanto, suscetibilidade semelhante a muitos patógenos que têm potencial para cruzar os limites das espécies (Wolfe et al. 1998). Portanto, os primatas representam um importante grupo sentinela de diversos patógenos de interesse para a saúde pública (Wolfe et al. 1998; Bicca-Marques e Freitas 2010).

Os primatas neotropicais são considerados altamente suscetíveis à toxoplasmose (Innes 1997), podendo desenvolver quadros clínicos agudo a hiperagudo da doença (Epiphanyo et al. 2003). Existe, no entanto, uma certa variação na suscetibilidade da doença entre grupos taxonômicos. A família Callithrichidae, por exemplo, é possivelmente a mais sensível dentre os primatas do novo mundo, possuindo um padrão de manifestações clínicas hiperagudo e grave, com mortalidade próxima a 100%. Já para a maioria das espécies de Cebidade e Atelidade, as manifestações clínicas se apresentam como um quadro agudo, com mortalidade variando de 20 a 80%. Por outro lado, os macacos-prego (*Cebus* spp. e *Sapajus* spp.), parecem ser bem menos sensíveis, e geralmente apresentam sinais clínicos subagudos, em um quadro leve e com baixa mortalidade (Catão-Dias et al. 2013).

Apesar da variação taxonômica na suscetibilidade para a toxoplasmose, a quantidade de informação disponível pode ser enviesada para certos gêneros e espécies de primatas, bem como para primatas em condição de cativeiro. Por exemplo, algumas espécies de primatas são mais atraentes ou mais fáceis de serem estudadas do que outras e, portanto, possuem maior diversidade de parasitas documentados, simplesmente porque existe mais informação disponível sobre elas (Solórzano-García e Pérez-Ponce de León 2018). O estudo de animais em cativeiro também é mais acessível e, por isso, a amostragem de parasitas de primatas nessa condição são mais fáceis do que a amostragem na natureza. No entanto, a prevalência de parasitas encontrada em primatas de cativeiro não necessariamente reflete a prevalência natural do parasita quando o hospedeiro está no ambiente natural. Animais em cativeiro têm mais oportunidades de

infecção acidental, dadas às condições artificiais nas quais esses animais vivem e, portanto, podem trazer informações enganosas sobre risco zoonótico de doenças.

As mudanças na paisagem induzidas pelas atividades humanas promovem perda e fragmentação de habitat, e colocam em risco as populações de primatas de vida livre (Galán-Acedo et al. 2019). O aumento da ocupação humana em áreas antes preservadas aumenta o contato e a transmissão de agentes infecciosos entre humanos, animais domésticos e silvestres, ocasionando o aumento na prevalência de doenças infecciosas emergentes, tais como a toxoplasmose (Brearley et al. 2012). No entanto, o estudo de revisão feito por Brearley et al. (2012) identifica que mudanças na prevalência de doenças ocasionadas pelas modificações antrópicas na paisagem podem ser altamente variáveis. Além disso, esses autores indicam que o entendimento sobre como a perda de habitat afeta a dinâmica de doenças da vida selvagem é limitado, e recomendam que são necessários estudos quantitativos para explicar os padrões de variação na prevalência das doenças. Dessa forma, identificar a prevalência de toxoplasmose em populações silvestres é fundamental para compreender as relações ecológicas entre primatas e parasitas, bem como avaliar os impactos das infecções parasitárias na conservação de primatas e na saúde pública.

Esse estudo apresenta uma revisão quantitativa, com o objetivo de avaliar os fatores que afetam a prevalência de *T. gondii* em primatas neotropicais. Para isso, criou-se um banco de dados abrangente, com estudos sobre a prevalência desse parasita em primatas neotropicais. Especificamente, explorou-se os padrões taxonômicos de variação da prevalência de *T. gondii*, buscando identificar como ela varia entre gêneros e famílias. Avaliou-se como a frequência média da infecção por *T. gondii* varia entre populações de primatas de vida livre e de cativeiro, e em função do nível de conhecimento sobre o gênero. Além disso, avaliou-se como a prevalência varia entre populações de primatas de vida livre e cativeiro dentro de cada família e gênero dos hospedeiros individualmente. Espera-se que a frequência média da infecção seja sempre maior em cativeiro do que em vida livre, independente da variação taxonômica, pelo fato de que primatas nesta condição possuem mais oportunidade de entrar em contato com as fezes de felinos domésticos e se infectar. A prevalência média encontrada para o gênero também deve ser maior em gêneros mais estudados. Além disso, também avaliou-se como a frequência de infecção em primatas de vida livre varia em função da porcentagem de cobertura florestal na paisagem. Espera-se que a prevalência do

protozoário em primatas de vida livre seja menor em áreas com maior cobertura florestal. Por fim, discutimos os principais fatores que afetam a prevalência de *T. gondii* em primatas neotropicais e o papel dessa zoonose na conservação dessas espécies.

## MÉTODOS

### Construindo o banco de dados para a meta-análise

Nós realizamos uma busca exaustiva na literatura, para identificar todos os estudos publicados sobre levantamentos de *T. gondii* em populações de primatas neotropicais, em cativeiro ou de vida livre. Para identificar esses estudos, pesquisamos na base *Web of Science* os termos "Primates" AND "Toxoplasma" AND ("Neotropical" OR "New world") no dia 10 de maio de 2020. Foram utilizados alguns critérios para selecionar os estudos que iriam compor o banco de dados. Primeiro, o estudo precisaria ter feito um levantamento do parasita em alguma população de primata neotropical, seja de vida livre ou de cativeiro, e informar o número de indivíduos testados e o número de indivíduos positivos. Não limitamos o número mínimo de indivíduos testados, considerando estudos que tenham testado a presença do parasita em pelo menos um indivíduo por espécie, e desde que o teste tenha sido aleatório e não direcionado. Dessa forma, descartamos estudos de caso e/ou retrospectivos que tenham utilizado apenas indivíduos positivos para realizar descrições patológicas macro e microscópicas.

Nós medimos o nível de conhecimento sobre os gêneros de primatas neotropicais incluídos na análise pelo número de publicações científicas sobre o gênero. Para isso, também utilizamos a base *Web of Science* para identificar esse número, usando o gênero de primata entre aspas. Mudanças taxonômicas recentes nos gêneros foram levadas em consideração durante as buscas. Além disso, para os estudos com primatas de vida livre, coletamos as coordenadas geográficas das áreas de estudo quando disponíveis. Utilizamos essas localidades para quantificar a porcentagem de cobertura florestal na paisagem onde essas populações silvestres se encontravam (Fig. 2). Para isso, utilizamos dados obtidos por meio de imagens de satélite que mostram a cobertura florestal em termos de porcentagem (Hansen et al. 2013). Essas imagens possuem uma resolução de 30 metros (tamanho do pixel), e cada pixel possui um valor de que representa a cobertura de floresta naquela área, variando de 0 a 100%. Nós então

medimos a porcentagem de cobertura florestal em um raio de 10 km a partir das localidades das populações de primatas, e utilizamos o valor médio dessa medida para representar a porcentagem de cobertura florestal na paisagem.

### **Análise de dados**

Primeiramente, quantificamos a prevalência de *T. gondii* em cada espécie [(nº de indivíduos positivos / nº total de indivíduos amostrados) \*100] para todas localidades descritas nos estudos compilados em nossa base de dados. Dessa forma, considerou-se que cada localidade é uma população de primata, seja em vida livre ou cativo.

Para avaliar como a prevalência média de *T. gondii* dos gêneros varia entre populações de cativo e vida livre, foi utilizado um Teste t-pareado. A normalidade dos dados foi confirmada previamente com um teste de Shapiro-Wilk ( $W = 0,97$ ;  $P = 0,85$ ). Para avaliar como o nível de conhecimento sobre o gênero afeta a prevalência média de *T. gondii* encontrada para o gênero, foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM), um para cada categoria de condição (cativo/vida livre), usando uma função log-link, uma vez que esses dados se ajustaram melhor a distribuição de Poisson. Também avaliou-se como a frequência de infecção varia entre populações de cativo e vida livre dentro de cada gênero e família taxonômica. Para isso, foram utilizados testes de Kruskal-Wallis para cada gênero e família, pois nesse caso, os dados apresentaram distribuição assimétrica.

Para avaliar como a prevalência de *Toxoplasma* em populações silvestres varia em função da porcentagem de cobertura florestal na paisagem, utilizou-se um GLM para cada família taxonômica. Os dados foram agrupados por família (Atelidae, Callithrichidae e Cebidae), pois não continham amostras suficientemente grandes para avaliação por gênero ou espécie. Nesses modelos, a prevalência de *T. gondii* das populações (variável resposta) foi estimada em função da sua resposta linear à porcentagem de cobertura florestal na paisagem (variável preditora). Esses modelos também foram ajustados com uma função log-link (regressão de Poisson). Todas as análises foram realizadas no software R (R Development Core Team 2018).

## RESULTADOS

A busca por estudos na *Web of Science* resultou em um total de 140 artigos publicados em periódicos revisados por pares, dos quais apenas 38 constituíam de levantamentos do parasita em populações de primatas neotropicais em cativeiro ou de vida livre, e que foram utilizados em nossa meta-análise. A revisão contou com 144 populações de primatas, de 67 espécies e 15 gêneros (Tabela S1). As cinco famílias de primatas neotropicais (Aotidae, Atelidae, Callitrichidae, Cebidae e Pitheciidae) foram representadas nessa revisão. Dentre as 144 populações de primatas estudadas, 94 foram de cativeiro e 50 de vida-livre (Fig. 3).

De acordo com os estudos analisados, a infecção por *T. gondii* já foi documentada para todos os gêneros das famílias Aotidae, Atelidae e Cebidae (Fig. 4a). De forma geral, *Sapajus*, *Ateles*, *Aotus* e *Cebus* foram os gêneros que apresentaram a maior frequência média de infecção por *T. gondii* (acima de 40%), em contraponto aos gêneros *Cacajao*, *Callicebus* e *Chiropotes*, que embora tenham sido representados nos estudos, tiveram taxa de infecção igual a zero (Fig. 4b). No entanto, essa variação da frequência média de infecção entre os gêneros não é constante entre a condição dos indivíduos, i.e., primatas de cativeiro possuem uma frequência média de infecção cerca de 25% maior que seus congêneres de vida-livre (Teste t-pareado,  $t = 3,74$ ;  $P < 0,01$ ; Fig. 4c). Além disso, gêneros mais estudados possuem maior prevalência tanto em populações de vida livre (GLM,  $z_{5,28} = 1,09$ ;  $P < 0,001$ ), quanto em cativeiro (GLM,  $z_{4,69} = 0,19$ ;  $P < 0,001$ ), embora o efeito do conhecimento sobre o gênero na taxa de infecção tenha sido maior em primatas de vida livre (Fig. 5).

Dentro de cada gênero, a frequência de infecção por *T. gondii* também foi maior em primatas de cativeiro, comparada aos de vida livre, apenas para os macacos-barrigudos (*Lagothrix* spp.; Fig. 6b) e macacos-prego (*Sapajus* spp.; Fig. 6d). Para os macacos-de-cheiro (*Saimiri* spp.; Fig. 6e), essa diferença foi marginalmente significativa, e não houve diferença na frequência do parasita entre primatas de cativeiro e vida livre para os bugios (*Alouatta* spp.; Fig. 6a) e sauíns (*Saguinus* spp.; Fig. 6c). Não foi possível realizar essas comparações por espécies, e tampouco para os demais gêneros, por falta de representatividade de amostras entre os grupos cativeiro/vida livre. Agrupando os gêneros por família, a frequência de infecção por *T. gondii* foi maior em atelídeos e cebídeos de cativeiro, quando comparados aos de vida livre (Fig. 6f e 6h). Não houve diferença na frequência de *T. gondii* entre as populações de cativeiro e vida

livre para os calitriquídeos e pitecídeos (Fig. 6g e 6i). Não foi possível avaliar essa diferença para macacos-da-noite (Aotidae) por falta de representatividade de estudos com esses primatas em vida livre.

Com relação aos efeitos da porcentagem de cobertura florestal na paisagem na frequência de infecção por *T. gondii* em primatas de vida livre, encontramos que quanto maior a porcentagem de cobertura florestal, menor será a frequência de infecção em populações silvestres de atelídeos, calitriquídeos e cebídeos (Tabela 1; Fig. 7). Os interceptos estimados pelos modelos indicam que, quando a porcentagem de cobertura florestal é próxima de zero, por exemplo, em áreas desmatadas, a prevalência de *T. gondii* pode ser de 89, 12 e 40% para os atelídeos, calitriquídeos e cebídeos, respectivamente. Para as três famílias, o efeito da cobertura florestal foi semelhante (coeficientes estimados próximo de 1; Tab. 1), indicando que a prevalência diminui cerca de 1% para cada 1% de aumento na cobertura florestal.

## DISCUSSÃO

### Variação taxonômica da prevalência

Os resultados desse estudo reforçam a alta prevalência de *T. gondii* identificada anteriormente para cebídeos e atelídeos, em contraponto à baixa prevalência em calitriquídeos. Essa alta variação na suscetibilidade à infecção e na prevalência do parasita, entre os gêneros de primatas neotropicais, pode ser explicada por fatores evolutivos, imunológicos, ecológicos e comportamentais.

*T. gondii* provavelmente dispersou da América do Norte para a América do Sul com os felinos há cerca de 3 milhões de anos, quando o Istmo do Panamá foi estabelecido (Sibley et al. 2009). A origem do ancestral de Pitheciidae e a radiação de Cebidae, por sua vez, datam de cerca de 20 milhões de anos atrás (Perelman et al. 2011), indicando que os primatas neotropicais habitaram a América do Sul durante muitos milhões de anos, antes da imigração dos felídeos (possivelmente infectados por *T. gondii*), vindos do hemisfério norte. Dessa forma, acredita-se que a evolução dos primatas neotropicais por um longo período sem contato com *T. gondii*, bem como o hábito predominantemente arborícola dessas espécies, que restringe o contato com fezes de felinos infectados, dificultaram o desenvolvimento de uma resposta imune eficiente

dos primatas neotropicais contra o protozoário (Catão-Dias et al. 2013). Essa hipótese explica a alta suscetibilidade de primatas neotropicais à toxoplasmose, no entanto, não explica a variação observada da prevalência de *T. gondii* entre os gêneros, especialmente a alta resistência encontrada para *Cebus* e *Sapajus*.

Do ponto de vista imunológico, a variação da prevalência pode ser explicada por diferenças na reposta imune dos grupos. É possível que a baixa prevalência encontrada para calitriquídeos, por exemplo, se deva pelo fato desses animais serem mais sensíveis à infecção pois, quando entram em contato com o parasita, desenvolvem um quadro clínico hiperagudo da doença e morrem antes de desenvolver uma resposta imune (Molina et al. 2017). No entanto, vale ressaltar que *Callithrix* (Molina et al. 2014), *Leontopithecus* (Bouer et al. 2010) e *Saguinus* (Frenkel e Sousa 1983) são capazes de produzir anticorpos anti-*T. gondii*, o que pode indicar que essas espécies devem apresentar diferentes respostas humorais, dada a alta diversidade genética das cepas de *T. gondii* na América Latina (Sibley et al. 2009). De qualquer forma, já é conhecido que o sistema imunológico de macacos-prego possui maior capacidade para responder à infecção do que o de calitriquídeos, que podem desenvolver quadros fatais de infecção (Catão-Dias et al. 2013). Portanto, a alta prevalência de cebídeos, especialmente *Sapajus* e *Cebus*, indica uma maior resistência dessas espécies para a infecção por *T. gondii*, quando comparados com os calitriquídeos, que apresentam baixa prevalência e potencialmente menor resistência.

Existem diferenças ecológicas e comportamentais que também podem elucidar sobre as diferenças encontradas na prevalência de *T. gondii* entre os gêneros. Atelídeos e cebídeos, por exemplo, são mais frequentemente predados por felinos que calitriquídeos, os quais tendem a ser mais predados por aves de rapina (Libório e Martins 2013). De fato, espécies de Atelidae podem, inclusive, constituir parte expressiva da dieta de felinos em determinadas regiões (e.g., Bianchi e Mendes 2007). Com relação ao comportamento, macacos-prego descem frequentemente ao chão para forragear (Ottoni e Izar 2008) e possuem uma dieta bastante generalista, podendo inclusive se alimentar de pequenos vertebrados (e.g., Resende et al. 2003), os quais são potenciais fontes de infecção por *T. gondii*. Bugios e macacos-aranha também descem frequentemente ao chão para praticar geofagia (i.e., hábito de ingerir solo), seja para suplementação da dieta com minerais ou para automedicação para desintoxicação intestinal e tratamento de endoparasitas (Ferrari et al. 2008). No entanto, calitriquídeos

difícilmente apresentam esse comportamento de descer ao chão. Mesmo quando bebem água, tendem a optar por fontes arborícolas (e.g., água armazenada em bromélias), e optam por água de rios e riachos somente quando outras fontes são escassas e, nesse caso, a descida ao solo envolve um comportamento cauteloso e coordenado do grupo, o qual presumivelmente percebe o risco de predação (Ferrari e Hilário 2012).

Portanto, é possível que os fatores evolutivos, imunológicos, ecológicos e comportamentais descritos acima tenham atuado para possibilitar diferentes padrões de interações entre *T. gondii* e os primatas. Essas explicações não são mutualmente excludentes e podem ter atuado em conjunto ou separadamente. Dessa forma, esses fatores convergiram para gerar mais oportunidades de interações mais frequentes entre cebídeos e *T. gondii* do que calitriquídeos, possibilitando o desenvolvimento e manutenção de uma resposta imune mais eficaz contra o parasita pelos macacos-prego.

### **Prevalência em cativeiro versus vida livre**

Esse estudo compila o primeiro levantamento comparativo de prevalência de *T. gondii* entre primatas de cativeiro e vida livre. Encontramos que a variação taxonômica na prevalência não é uniforme entre a condição dos primatas, ou seja, a prevalência média de um gênero em cativeiro tende a ser 25% maior que o mesmo gênero em vida livre. De forma geral, a prevalência também apresentou maior variabilidade na condição cativeiro do que em vida livre, tanto entre gêneros, quanto dentro dos gêneros e famílias. Isso sugere que outros fatores, tais como as condições sanitárias do cativeiro e o tipo de manipulação do plantel, podem afetar a prevalência de *T. gondii* em primatas cativos. Já foi observado, por exemplo, que o consumo de carne crua e a própria idade dos animais são fatores de risco para infecção por *T. gondii* em macacos-prego (Ferreira et al. 2015). De qualquer forma, independentemente do nível de cuidado sanitário que os primatas recebem em cativeiro, encontramos que a prevalência nessa condição tende a ser maior do que em populações silvestres, embora possamos discutir algumas particularidades específicas para os diferentes grupos taxonômicos.

No caso dos cebídeos, por exemplo, a prevalência de *T. gondii* nesses primatas foi sempre maior em cativeiro do que em vida livre, ainda que *Cebus*, *Sapajus* e, inclusive, *Saimiri* tenham se mantido entre os gêneros com maior prevalência, independente da condição de cativeiro ou vida livre (Fig. S1). A maior prevalência nos cebídeos de cativeiro foi consistente, tanto ao nível da família quanto ao nível do gênero (no caso,

*Sapajus* e *Saimiri*). A condição de cativo aumenta as chances dos primatas de interagirem com parasitas e isso, associado ao comportamento generalista e exploratório e à competência imunológica de macacos-prego, discutidos na seção anterior, explicam a maior prevalência encontrada em cebídeos de cativo.

Para atelídeos, o padrão de maior prevalência em cativo que em vida livre foi observado ao nível de família, mas foi consistente apenas para os macacos-barrigudos (*Lagothrix*), que apresentaram uma prevalência média de 27,6% em cativo e 0% em vida livre. Macacos-barrigudos são capazes de desenvolver resposta imune contra *T. gondii*, ainda que, ao adquirirem o parasita, desenvolvam um quadro hiperagudo e fatal da doença (Gyimesi et al. 2006). Dessa forma, uma vez que os macacos-barrigudos de vida livre apresentaram uma prevalência igual a zero, os resultados desse estudo sugerem que esses animais dificilmente entram contato com o parasita na natureza. No entanto, salienta-se que as populações amostradas em vida livre constituíam de poucos indivíduos e as prevalências estimadas para essas populações podem não ser precisas. De forma semelhante, a escassez de estudos com populações de vida livre de macacos-aranha (*Ateles*), bem como seu baixo N amostral das populações (1–2 indivíduos), não permitiram avaliar a diferença na prevalência entre cativo e vida livre, ainda que o gênero tenha apresentado uma alta prevalência em cativo.

Os bugios (*Alouatta*) de cativo apresentaram uma prevalência média de 21% e, embora a maioria dos estudos em populações silvestres tenham encontrado prevalência igual a zero, essa diferença não foi significativa. Os bugios possuem uma dieta vegetariana, consumindo principalmente folhas, mas também frutos, flores e sementes (Bicca-Marques et al. 2011). No entanto, vale salientar que o consumo eventual e oportunístico de ovos de aves, ainda que seja um comportamento raro (Bicca-Marques et al. 2014), pode ser uma via de infecção por *T. gondii* (Pande et al. 1960). Mesmo em cativo, bugios famintos (24 horas sem comida) podem comer ovos de codorna se nenhum outro alimento for oferecido (Marini e Melo 1998). Portanto, como dificilmente consomem itens animais, as chances de se infectarem por meio dessa via são baixas, mesmo quando estão em cativo.

Curiosamente, os únicos primatas que apresentaram um padrão inverso, ou seja, maior prevalência em animais de vida livre, foram os saguis (*Callithrix*). Isso provavelmente se deve porque o único estudo encontrado com populações silvestres de

saguis (*Callithrix penicillata*) estimou uma prevalência de 17% (Molina et al. 2014), e esse foi o valor usado para representar a média para o gênero em vida livre. Esse estudo foi comparado com outros 16 estudos de cativeiro, que tiveram prevalência variando de 0–29%, sendo a grande maioria (12 estudos) com prevalência igual a zero, o que deve ter contribuído para uma média geral baixa comparada ao único estudo de vida livre. Para outro gênero de Calitrichidae, *Saguinus*, assim como para toda família, a grande maioria das populações apresentaram prevalência igual a zero, sem diferença entre cativeiro e vida livre. Esse fato reforça a ideia discutida anteriormente de que calitriquídeos apresentam baixa prevalência devido à alta sensibilidade e mortalidade.

Os macacos-da-noite (*Aotus*) estiveram ranqueados entre os gêneros com maior prevalência na condição de cativeiro, mas uma prevalência igual a zero em populações de vida livre. No entanto, os estudos que estimaram alta prevalência em cativeiro (50–100%) foram realizados com poucos indivíduos (2–6 indivíduos/população). Outros levantamentos sorológicos feitos com amostras de populações maiores sugerem que a prevalência de *T. gondii* em *Aotus* deve ser de baixa, tanto em vida livre (Frenkel e Sousa 1983), quanto em cativeiro (Minervino et al. 2017). Da mesma forma, os pithecídeos apresentaram baixa prevalência e sem diferença entre cativeiro e vida livre, mas, novamente, a maioria dos estudos para esse grupo foi feito com poucos indivíduos (até três indivíduos/população). A escassez de dados sobre essas espécies não permite fazer inferências com segurança sobre a suscetibilidade/sensibilidade desses animais à infecção por *T. gondii*. Portanto, novos levantamentos do parasita em populações maiores dessas espécies, seja em cativeiro ou em vida livre, são necessários para entender como elas respondem ao contato com o parasita.

### **Conhecimento científico sobre a espécie: viés ou efeito?**

Esse estudo encontrou uma relação positiva entre a prevalência média estimada para o gênero e o número de publicações científicas sobre ele, indicando que grupos mais bem estudados tendem a possuir maior prevalência, tanto em cativeiro como em populações de vida livre. Um padrão semelhante foi encontrado em uma revisão sobre parasitas em primatas neotropicais, onde os autores documentaram que a diversidade conhecida de parasitas das espécies é maior naquelas espécies melhor estudadas (Solórzano-García e Pérez-Ponce de León 2018). De fato, a carga parasitária de primatas de tamanho corporal grande, com amplas áreas de distribuição e que são mais terrestres, tende a ser

melhor estudada (Cooper e Nunn 2013), e isso pode explicar o maior número de estudos encontrados para atelídeos e cebídeos.

O fato de essa relação ser ainda mais evidente em primatas de vida livre indica que a detecção de *T. gondii* nessas populações só é possível em gêneros muito bem estudados. Em muitas vezes, a facilidade para estudar populações de vida livre, especialmente por questões logísticas, depende da infraestrutura disponível e de quanto essas populações estão isoladas dos centros urbanos. Esse é o caso dos levantamentos realizados na Amazônia Central (Elias et. al., in prep), uma região com muitas lacunas de amostragem de biodiversidade. Nesses casos, a amostragem de primatas tende a ser mais difícil e os estudos têm amostras pequenas das populações animais. Curiosamente, muitos dos gêneros mais diversificados (e.g., *Mico*, *Plecturocebus* e *Pithecia*), são justamente os gêneros Amazônicos, que possuem poucos ou nenhum registro da infecção por *T. gondii*. Essa amostragem assimétrica e insuficiente para espécies pouco estudadas impede que consigamos estimar a prevalência de *T. gondii* com precisão, especialmente em populações de vida livre. Identificar lacunas de amostragem de parasitas em espécies pouco estudadas e regiões geográficas pouco conhecidas é apenas o primeiro passo para entender quais doenças infecciosas de primatas podem surgir em humanos (Cooper e Nunn 2013).

### **Efeitos da cobertura florestal na paisagem**

Esse estudo encontrou que a frequência de infecção em populações de vida livre diminui cerca de 1%, à medida que aumenta a porcentagem de cobertura florestal na paisagem, na mesma proporção. O declínio na cobertura florestal, na área de distribuição dos primatas, está fortemente associado à expansão da agricultura e da pecuária (Estrada et al. 2017), e é comum que essas mudanças na paisagem, promovidas pelo homem, aumentem a prevalência de doenças infecciosas em populações de animais silvestres (Brearley et al. 2012). A associação de uma maior frequência de infecção por *T. gondii* em populações de animais de vida livre em áreas rurais e peri-urbanas, já foi documentada para roedores exóticos e silvestres (Gotteland et al. 2014a), cervídeos (Sevila et al. 2014), marmotas (Lehrer et al. 2010) e até mesmo espécies semi-aquáticas, como as lontras (Smallbone et al. 2017). Além disso, o aumento na densidade de habitações humanas em paisagens rurais foi indicado como um fator determinante até mesmo na contaminação de solos por oocistos de *T. gondii* e, conseqüentemente, na infecção em roedores (Gotteland et al. 2014b). No entanto, todos esses estudos foram

realizados com espécies dos EUA e na Europa e, portanto, nosso estudo é um dos poucos estudos que traz a evidência de que as mudanças na paisagem podem afetar a prevalência de *T. gondii* em espécies neotropicais.

As mudanças na paisagem induzidas pelas atividades humanas promovem perda e fragmentação de habitat, que aumentam o contato e a transmissão de agentes infecciosos entre humanos, animais domésticos e silvestres, ocasionando o aumento na prevalência de doenças infecciosas emergentes, tais como a toxoplasmose (Brearley et al. 2012). Os resultados indicam que, de acordo com as estimativas dos modelos, a prevalência máxima de *T. gondii* pode chegar a 12, 40 e 89% para callitriquídeos, cebídeos e atelídeos, respectivamente, em paisagens com cobertura florestal próxima de zero. Para callitriquídeos e cebídeos, as estimativas da prevalência em áreas com baixa cobertura florestal são próximas da prevalência média encontrada para populações cativas dessas famílias (Callitrichidae: 11%; Cebidae: 51%). Para atelídeos, essa estimativa é bastante superior à frequência média de infecção encontrada em cativeiro (35%), ainda que seja possível encontrar populações de bugios de vida livre com prevalência de até 75% (e.g., Molina et al. 2014). A estimativa de cobertura florestal para o estudo de Molina et al. (2014) foi de 21%, e já é sabido que bugios podem ocorrer em paisagens com cobertura florestal inferior a essa e, inclusive, habitar pequenos fragmentos florestais (Bicca-Marques 2003). Bugios habitantes de áreas urbano-rurais, com alto grau de interação com humanos e outros animais domésticos, podem apresentar mudanças comportamentais que aumentam o risco de infecção, como por exemplo, o consumo de ovos em uma espécie que é essencialmente herbívora (Bicca-Marques et al. 2014).

### **Considerações finais**

Nesse estudo, foram explorados os padrões de prevalência de *T. gondii* em primatas neotropicais, com o objetivo de compreender como esse parasita pode representar um risco para a saúde desses animais. Buscou-se compreender os padrões de variação taxonômica na prevalência e os fatores associados a essa variação, bem como os efeitos da cobertura florestal da paisagem na prevalência em primatas de vida livre. Existe grande variação taxonômica na prevalência desse parasita, associadas a questões evolutivas, imunológicas, ecológicas e comportamentais das espécies. Além disso, parte dessa variação é ocasionada por uma amostragem taxonômica assimétrica, onde os padrões de suscetibilidade à infecção são melhor compreendidos para os grupos de

primatas melhor estudados. Uma vez identificadas essas lacunas de amostragem, é preciso direcionar esforços e recursos para grupos pouco conhecidos e regiões menos estudadas. De forma geral, a prevalência em primatas de cativeiro é maior e mais variável, mas características específicas dos grupos taxonômicos podem amenizar esse padrão. Por fim, foi demonstrado que a perda de cobertura florestal na paisagem pode aumentar a frequência de infecção por *T. gondii* em populações de primatas neotropicais. Fato que pode ser associado ao aumento da transmissão do parasita entre humanos, animais domésticos e silvestres, o qual frequentemente ocorre em paisagens modificadas pelo homem (Brearley et al. 2012).

A infecção de *T. gondii* em primatas neotropicais não representa um risco apenas para a saúde dos primatas, que são altamente suscetíveis e podem ser bastante sensíveis (Catão-Dias et al. 2013). Em um contexto de Saúde Única, é bastante plausível que a infecção de *T. gondii* em primatas também represente um risco direto para a saúde humana, especialmente das populações tradicionais que praticam a caça de subsistência, para as quais os primatas podem ser uma fonte importante de proteína, e nem sempre são executadas as boas práticas de manipulação e uso do recurso (Pereira et al. 2019). Além disso, primatas infectados por *T. gondii* podem infectar seus predadores naturais, os grandes felinos, que são os hospedeiros definitivos do parasita, além de exercerem um papel essencial na manutenção e estabilidade dos ecossistemas (Ripple et al. 2014). Por outro lado, também é importante reconhecer que os parasitas fazem parte natural dos ecossistemas, e que encontrar parasitas em populações silvestres não necessariamente significa que essa população não está saudável (Jenkins et al. 2015). Ainda há muita incerteza no entendimento da complexa dinâmica de interação entre *T. gondii* e os primatas. Dessa forma, os levantamentos parasitológicos são fundamentais para compreender a interação entre parasitas, hospedeiros e o ambiente, a fim de antecipar potenciais riscos para a saúde humana, animal e ecossistêmica.

## REFERÊNCIAS

- Aguirre AA, Ostfeld RS, Tabor GM, House C, Pearl MC (2002) *Conservation Medicine: Ecological Health in Practice*, New York: Oxford University Press
- Aristide L, Rosenberger AL, Tejedor M, Perez SI (2015) Modeling lineage and phenotypic diversification in the New World monkey (Platyrrhini, Primates) radiation. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 82:375–385.  
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2013.11.008>
- Bengis RG, Leighton FA, Fischer JR, Artois M, Mörner T, Tate CM (2004) The role of wildlife in emerging and re-emerging zoonoses. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties* 23:497–511
- Bianchi R de C, Mendes SL (2007) Ocelot (*Leopardus pardalis*) predation on primates in Caratinga Biological Station, Southeast Brazil. *American Journal of Primatology* 69:1173–1178. <https://doi.org/10.1002/ajp>
- Bicca-Marques JC (2003) How do Howler Monkeys cope with habitat fragmentation? In: *Primates in Fragments*, Marsh LK (editor), New York: Springer, pp 283–303
- Bicca-Marques JC, Freitas DS De (2010) The role of monkeys, mosquitoes, and humans in the occurrence of a yellow fever outbreak in a fragmented landscape in south Brazil: protecting howler monkeys is a matter of public health. *Tropical Conservation Science* 3:78–89. <https://doi.org/10.1177/194008291000300107>
- Bicca-Marques JC, Silva VM, Gomes DF (2011) Ordem Primates. In: *Mamíferos do Brasil*, Reis NR, Peracchi AL, Pedro WA, Lima IP (editors), Londrina: Technical Books, pp 107–150
- Bicca-Marques JC, Silveira IRRI, de Souza Martins L, Rabelo RM (2014) Artificial nest predation by brown howler monkeys (*Alouatta guariba clamitans*). *European Journal of Wildlife Research* 60:109–112. <https://doi.org/10.1007/s10344-013-0756-1>
- Bouer A, Werther K, Machado RZ, Nakaghi ACH, Epiphanyo S, Catão-dias JL (2010) Detection of anti-Toxoplasma gondii antibodies in experimentally and naturally infected non-human primates by Indirect Fluorescence Assay (IFA) and indirect

- ELISA. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 19:26–31.  
<https://doi.org/10.4322/rbpv.01901005>
- Brearley G, Rhodes J, Bradley A, Baxter G, Seabrook L, Lunney D, Liu Y, Mcalpine C (2012) Wildlife disease prevalence in human-modified landscapes. *Biological Reviews* 88:427–442. <https://doi.org/10.1111/brv.12009>
- Catão-Dias JL, Epiphanyo S, Kierulff MCM (2013) Neotropical primates and their susceptibility to *Toxoplasma gondii*: new insights for an old problem, In: *Primates, Pathogens, and Evolution*, Brinkworth JF, Pechenkina K (editors), New York: Springer, pp 253–289
- Cook RA, Karesh WB (2008) Emerging diseases at the interface of people, domestic animals and wildlife. In: *Zoo and Wild Animal Medicine*, Fowler ME, Miller RE (editors), Saint Louis: Saunders/Elsevier, pp 55–65
- Cooper N, Nunn CL (2013) Identifying future zoonotic disease threats: Where are the gaps in our understanding of primate infectious diseases? *Evolution, Medicine, and Public Health* 2013:27–36. <https://doi.org/10.1093/emph/eot001>
- Daszak P, Cunningham AA, Hyatt AD (2000) Emerging infectious diseases of wildlife - threats to biodiversity and human health. *Science* 287(5452):443–449.  
<https://doi.org/10.1126/science.287.5452.443>
- Dubey JP, Lago EG, Gennari SM, Su C, Jones JL (2012) Toxoplasmosis in humans and animals in Brazil: high prevalence, high burden of disease, and epidemiology. *Parasitology* 139:1375–1424. <https://doi.org/10.1017/S0031182012000765>
- Dubey JP, Desmonts G (1987) Serological responses of equids fed *Toxoplasma gondii* oocysts. *Equine Veterinary Journal* 19, 337–339.
- Epiphanyo S, Sinhorini IL, Catão-Dias JL (2003) Pathology of toxoplasmosis in captive new world primates. *Journal of Comparative Pathology* 129:196–204.  
[https://doi.org/10.1016/S0021-9975\(03\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9975(03)00035-5)
- Estrada A, Garber PA, Rylands AB, Roos C, Fernandez-duque E, Fiore A Di, Nekaris KA, Nijman V, Heymann EW, Lambert JE, Rovero F, Barelli C, Setchell JM, Gillespie TR, Mittermeier RA, Arregoitia LV, Guinea M, Gouveia S, Dobrovolski R, Shanee S, Shanee N, Boyle SA, Fuentes A, MacKinnon KC, Amato KR, S. MAL, Wich S, Sussman RW, Pan R, Kone I, Li B (2017) Impending extinction

- crisis of the world's primates: Why primates matter. *Science Advances* 3:1–16. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600946>
- Ferrari SF, Hilário RR (2012) Use of water sources by buffy-headed marmosets (*Callithrix flaviceps*) at two sites in the Brazilian Atlantic Forest. *Primates* 53:65–70. <https://doi.org/10.1007/s10329-011-0277-z>
- Ferrari SF, Veiga LM, Urbani B (2008) Geophagy in New World monkeys (Platyrrhini): Ecological and geographic patterns. *Folia Primatologica* 79:402–415. <https://doi.org/10.1159/000141901>
- Ferreira DRA, Ribeiro VO, Laroque PO, Wagner PGC, Pinheiro Júnior JW, Silva JCA, Dubey JP, Rêgo EW, Mota RA (2015) Risk factors associated with *Toxoplasma gondii* infection in captive *Sapajus* spp. *American Journal of Primatology* 77:558–562. <https://doi.org/10.1002/ajp.22377>
- Frenkel JK, Sousa OE (1983) Antibodies to *Toxoplasma* in Panamanian Mammals. *The Journal of Parasitology* 69:244–245. <https://doi.org/10.1645/ge-2597.1>
- Galán-Acedo C, Arroyo-Rodríguez V, Cudney-Valenzuela SJ, Fahrig L (2019) A global assessment of primate responses to landscape structure. *Biological Reviews* 94:1605–1618. <https://doi.org/10.1111/brv.12517>
- Gotteland C, Chaval Y, Villena I, Galan RG, Aubert D, Poulle M-L, Charbonnel N, Gilot-fromont E (2014a) Species or local environment, what determines the infection of rodents by *Toxoplasma gondii*? *Parasitology* 141:259–268. <https://doi.org/10.1017/S0031182013001522>
- Gotteland C, McFerrin BM, Zhao X, Gilot-Fromont E, Lélou M (2014b) Agricultural landscape and spatial distribution of *Toxoplasma gondii* in rural environment: an agent-based model. *International Journal of Health Geographics* 13:1–11 <http://www.ij-healthgeographics.com/content/13/1/45>
- Gyimesi ZS, Lappin MR, Dubey JP (2006) Application of assays for the diagnosis of toxoplasmosis in a colony of Woolly Monkeys (*Lagothrix Lagotricha*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 37:276–280. <https://doi.org/10.1638/05-018.1>
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina AD, Thau D, Stehman S V., Goetz SJ, Loveland TR, Kommareddy A, Egorov A, Chini L, Justice CO, Townshend JRG (2013) High-resolution global maps of 21st-century

forest cover change. *Science* 344(6160):850–853.

<https://doi.org/10.1126/science.1248753>

Innes EA (1997) Toxoplasmosis: comparative species susceptibility and host immune response. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 20:131–138. [https://doi.org/10.1016/S0147-9571\(96\)00038-0](https://doi.org/10.1016/S0147-9571(96)00038-0)

Jenkins EJ, Simon A, Bachand N, Stephen C (2015) Wildlife parasites in a One Health world. *Trends in Parasitology* 31:174–180.  
<https://doi.org/10.1016/j.pt.2015.01.002>

Lehrer EW, Fredebaugh SL, Schooley RL, Mateus-pinilla NE, Natural I, Survey H (2010) Prevalence of Antibodies to *Toxoplasma gondii* in Woodchucks across an Urban–rural Gradient. *Journal of Wildlife Diseases* 46:977–980.  
<https://doi.org/10.7589/0090-3558-46.3.977>

Libório RA, Martins MM (2013) Body size in predator–prey interactions: an investigation of Neotropical primates and their predators. *Studies on Neotropical Fauna and Environment* 48:81–87.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/01650521.2013.789724>

Marini MA, Melo C (1998) Predators of quail eggs, and the evidence of the remains: Implications for nest predation studies. *The Condor* 100:395–399.  
<https://doi.org/10.2307/1370284>

Marvulo MF (2007) Zoonoses. In: *Tratado de animais selvagens*, Cubas ZS, Silva JCR, Catão-Dias JL (editors), São Paulo: Roca, pp 1250–1257

Minervino AHH, Cassinelli ABM, de Souza AJS, Alves MM, Soares M do CP, Ferreira DAC, Pereira WLA, Gennari SM (2017) Detection of *Toxoplasma gondii* antibodies in captive non-human primates in the Amazon region, Brazil. *Journal of Medical Primatology* 46:343–346. <https://doi.org/10.1111/jmp.12314>

Molina CV, Catão-Dias JL, Ferreira Neto JS, Vasconcellos SA, Gennari SM, Valle RDR do, Souza GO De, Morais ZM de, Vitaliano SN, Strefezzi RDF, Bueno MG (2014) Sero-epidemiological survey for brucellosis, leptospirosis, and toxoplasmosis in free-ranging *Alouatta caraya* and *Callithrix penicillata* from São Paulo State, Brazil. *Journal of Medical Primatology* 43:197–201.  
<https://doi.org/10.1111/jmp.12112>

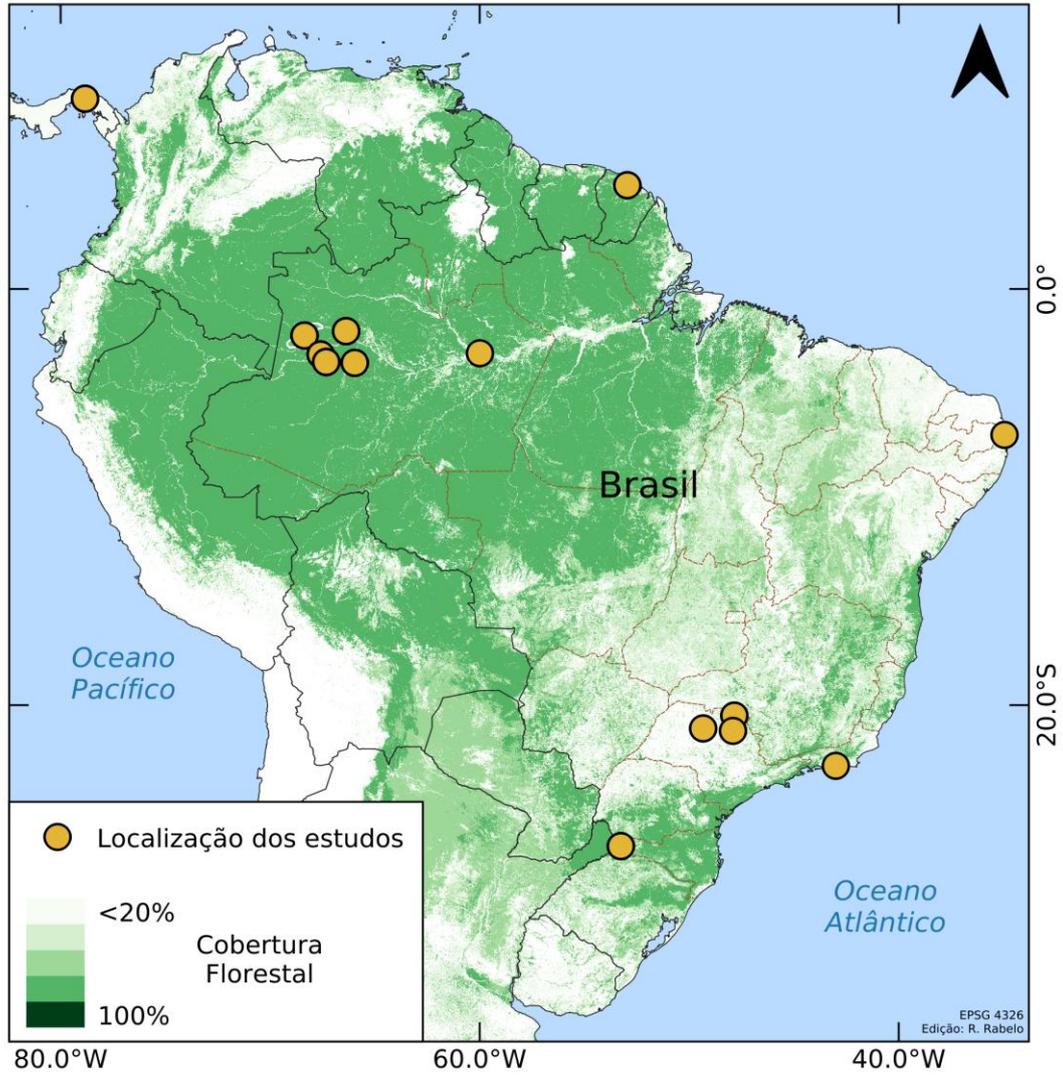
- Molina CV, Krawczak F da S, Bueno MG, Soares HS, Genari SM, Pissinati A, Kierulff MCM, Silva TF, Freitas DG, Caneli LC, Catão-Dias JL (2017) Negative serosurvey of *Toxoplasma gondii* antibodies in Golden-headed Lion Tamarin (*Leontopithecus chrysomelas*) from Niterói/RJ, Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 26:115–118. <https://doi.org/10.1590/s1984-29612016069>
- Montazeri M, Galeh TM, Moosazadeh M, Sarvi S, Dodangeh S, Javidnia J, Sharif M, Daryani A (2020) The global serological prevalence of *Toxoplasma gondii* in felids during the last five decades (1967-2017): a systematic review and meta-analysis. *Parasites and Vectors* 13: 82. <https://doi.org/10.1186/s13071-20-3954-1>
- Montoya JG, Liesenfeld O (2004) Toxoplasmosis. *The Lancet* 363:1965–1976. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16412-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16412-X)
- Nicole W (2014) Seeing the forest for the trees: how “One Health” connects humans, animals, and ecosystems. *Environmental Health Perspectives* 122:A122–A129. <https://doi.org/10.1289/ehp.122-A122>
- Otoni EB, Izar P (2008) Capuchin monkey tool use: Overview and implications. *Evolutionary Anthropology* 17:171–178. <https://doi.org/10.1002/evan.20185>
- Pande PG, Shukla RR, Sekariah PC (1960) *Toxoplasma* from the eggs of the Domestic Fowl (*Gallus gallus*). *Science* 133(3453):648–648. [10.1126/science.133.3453.648](https://doi.org/10.1126/science.133.3453.648)
- Pappas G, Roussos N, Falagas ME (2009) Toxoplasmosis snapshots: Global status of *Toxoplasma gondii* seroprevalence and implications for pregnancy and congenital toxoplasmosis. *International Journal of Parasitology* 39:1385–1394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2009.04.003>
- Pereira PM, Valsecchi J, Queiroz HL (2019) Spatial patterns of primate hunting in riverine communities in Central Amazonia. *Oryx* 53:165–173. <https://doi.org/10.1017/S0030605317000199>
- Perelman P, Johnson WE, Roos C, Seuánez HN, Horvath JE, Moreira MAM, Kessing B, Pontius J, Roelke M, Rumpler Y, Schneider MPC, Silva A, O’Brien SJ, Pecon-Slatery J (2011) A molecular phylogeny of living primates. *PLoS Genet* 7:e1001342. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1001342>

- R Development Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Rabinowitz P, Scotch M, Conti L (2009) Human and animal sentinels for shared health risks. *Veterinaria Italiana* 45:23–24.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2818012/>
- Resende BD, Greco VLG, Ottoni EB, Izar P (2003) Some observations on the predation of small mammals by Tufted capuchin Monkeys (*Cebus apella*). *Neotropical Primates* 11:103–104.
- Ripple WJ, Estes JA, Beschta RL, Wilmers CC, Ritchie EG, Hebblewhite M, Berger J, Elmhagen B, Letnic M, Nelson MP, Schmitz OJ, Smith DW, Wallach AD, Wirsing AJ (2014) Status and ecological effects of the world's largest carnivores. *Science* 343(6167):1241484. <https://doi.org/10.1126/science.1241484>
- Sevila J, Richomme C, Hoste H, Candela MG, Gilot-Fromont E, Rodolakis A, Cebe N, Picot D, Merlet J, Verheyden H (2014) Does land use within the home range drive the exposure of roe deer (*Capreolus capreolus*) to two abortive pathogens in a rural agro-ecosystem? *Acta Theriologica* 59:571–581. <https://doi.org/10.1007/s13364-014-0197-6>
- Sibley LD, Khan A, Ajioka JW, Rosenthal BM (2009) Genetic diversity of *Toxoplasma gondii* in animals and humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364:2749–2761. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0087>
- Smallbone WA, Chadwick EA, Francis J, Guy E, Perkins SE, Sherrard-smith E, Cable J (2017) East-West Divide: temperature and land cover drive spatial variation of *Toxoplasma gondii* infection in Eurasian otters (*Lutra lutra*) from England and Wales. *Parasitology* 144:1433–1440. <https://doi.org/10.1017/S0031182017000865>
- Solórzano-García B, Pérez-Ponce de León G (2018) Parasites of Neotropical primates: a review. *International Journal of Primatology* 39:155–182.  
<https://doi.org/10.1007/s10764-018-0031-0>
- Weinhold B (2003) Conservation Medicine: combining the best of all worlds. *Environmental Health Perspectives* 111:525–529.  
<https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.111-a524>

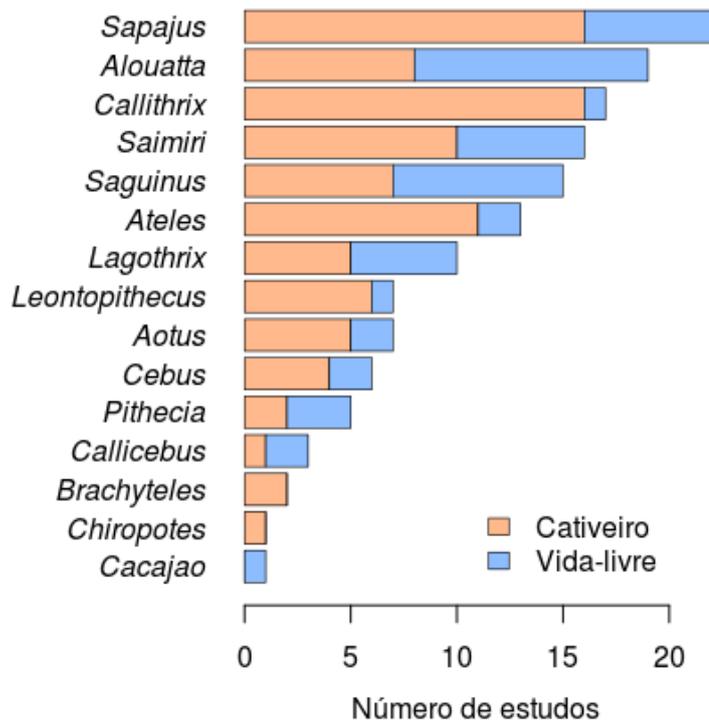
Wolfe ND, Escalante AA, Karesh WB, Kilbourn A, Spielman A, Lal AA (1998) Wild primate populations in emerging infectious disease research: the missing link? *Emerging Infectious Diseases* 4:149–158. 10.3201/eid0402.980202

**Tabela 1.** Estimativas dos parâmetros realizadas por modelos lineares generalizados (GLMs) para avaliar o efeito da porcentagem de cobertura florestal na paisagem na frequência de infecção de *T. gondii* em populações de primatas neotropicais de vida livre. Em todos os modelos, a frequência de infecção das populações de uma mesma família taxonômica foi estimada em função da sua resposta linear à porcentagem de cobertura florestal, utilizando uma função log-link (regressão de Poisson). Valores entre parênteses para as estimativas indicam o valor da estimativa em escala linear. *Z* é a estatística de Wald, o qual é a valor da estimativa dividido pelo seu erro padrão. Valores em negrito indicam estimativas significantes dos coeficientes (nível de significância  $P < 0.05$ ).

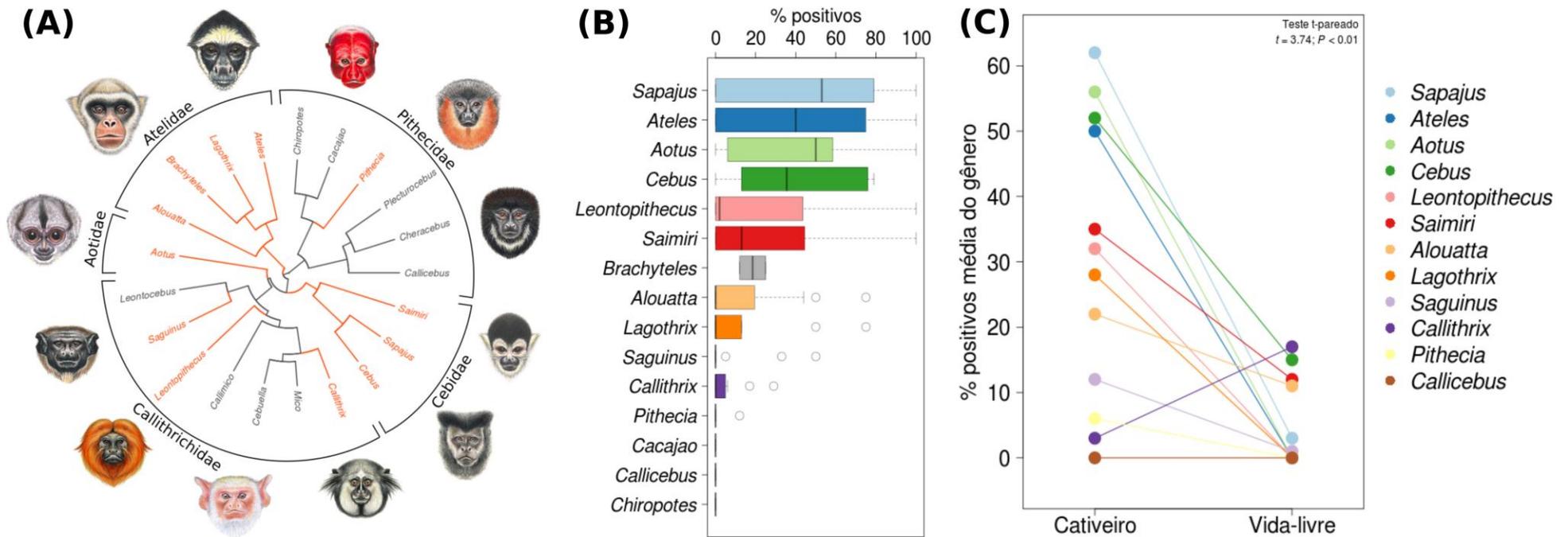
<b>Família</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Estimativas</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
Atelidae	intercepto	4,49 (88,9)	0,14	31,70	<b>&lt; 0,01</b>
	% cobertura florestal	-0,06 (0,95)	0,00	-12,26	<b>&lt; 0,01</b>
Callitrichidae	intercepto	2,52 (12,3)	0,38	6,53	<b>&lt; 0,01</b>
	% cobertura florestal	-0,03 (0,97)	0,01	-3,78	<b>&lt; 0,01</b>
Cebidae	intercepto	3,68 (39,6)	0,14	27,16	<b>&lt; 0,01</b>
	% cobertura florestal	-0,04 (0,96)	0,00	-9,12	<b>&lt; 0,01</b>



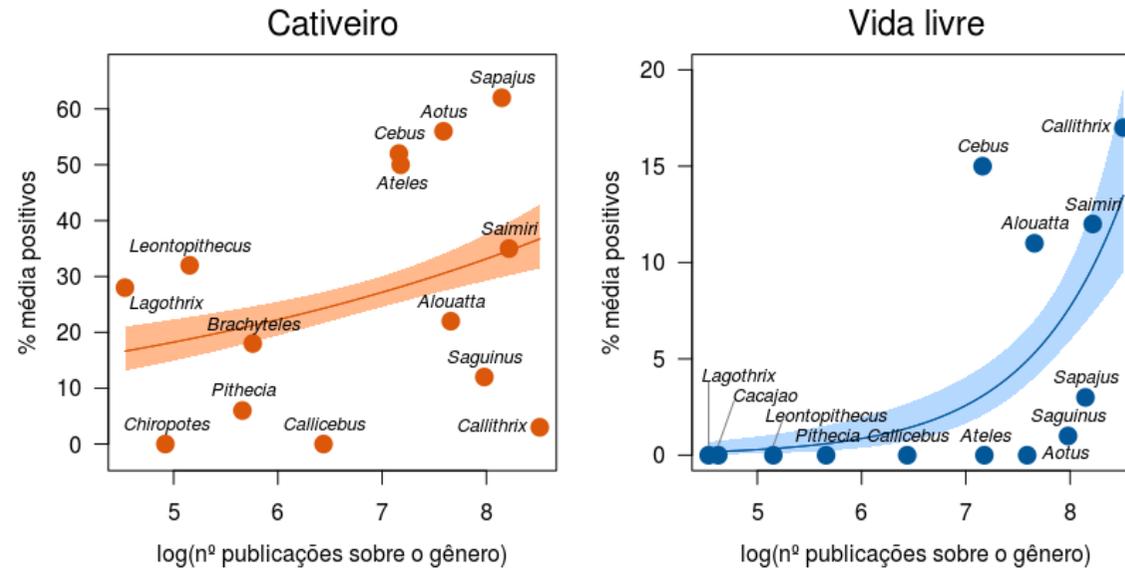
**Figura 2.** Localização dos estudos sobre a frequência de *T. gondii* em primatas neotropicais de vida livre.



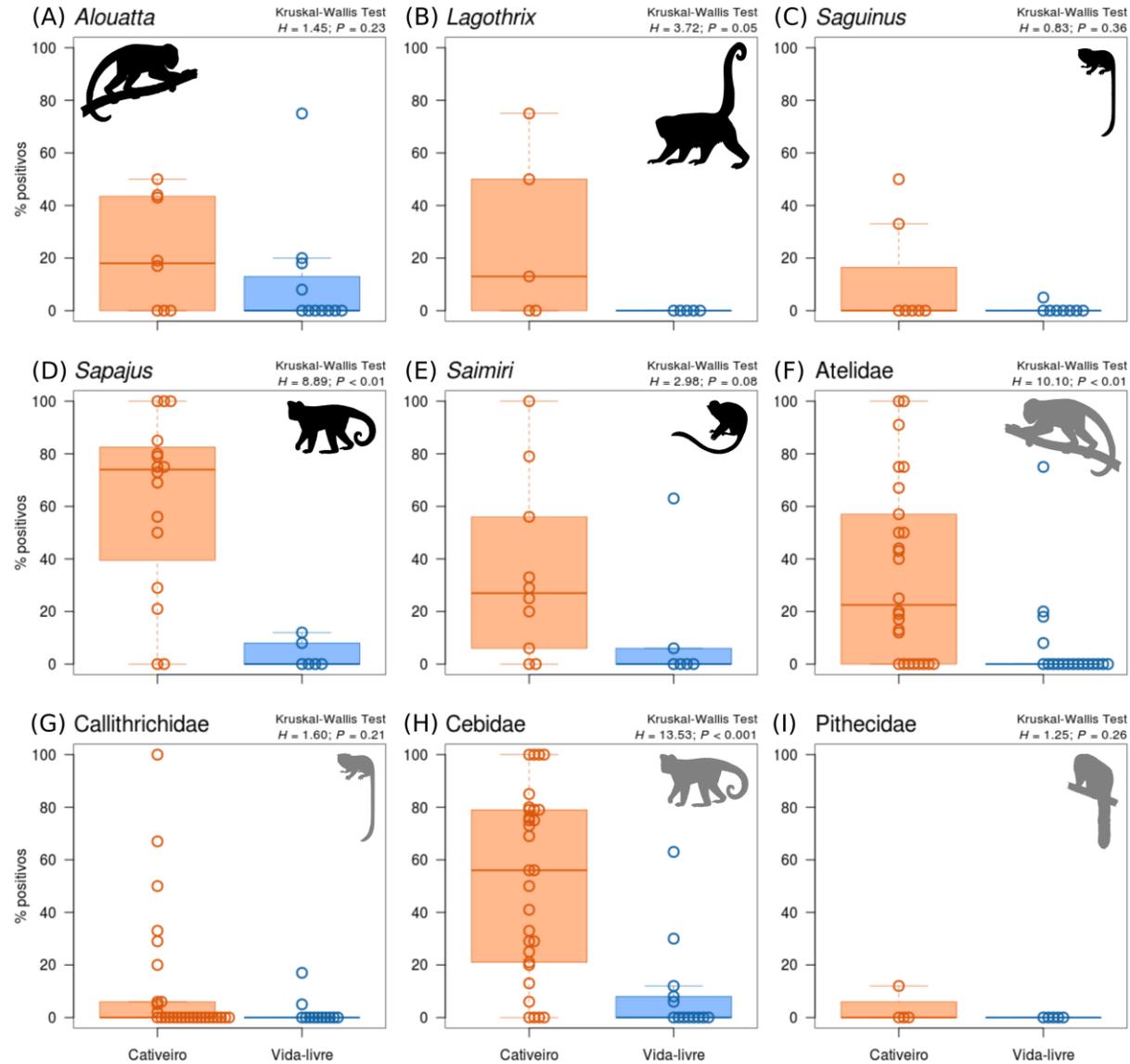
**Figura 3.** Número de populações estudadas sobre a prevalência de *T. gondii* por gênero e por condição (cativeiro/vida livre). Foram compilados estudos de 144 populações de 67 espécies dos 15 gêneros. Os gêneros *Brachyteles* e *Chiropotes* tiveram apenas estudos em populações de cativeiro, enquanto o gênero *Cacajao* teve apenas um estudo com primatas de vida livre. Descrição dos estudos é apresentada na Tabela 1.



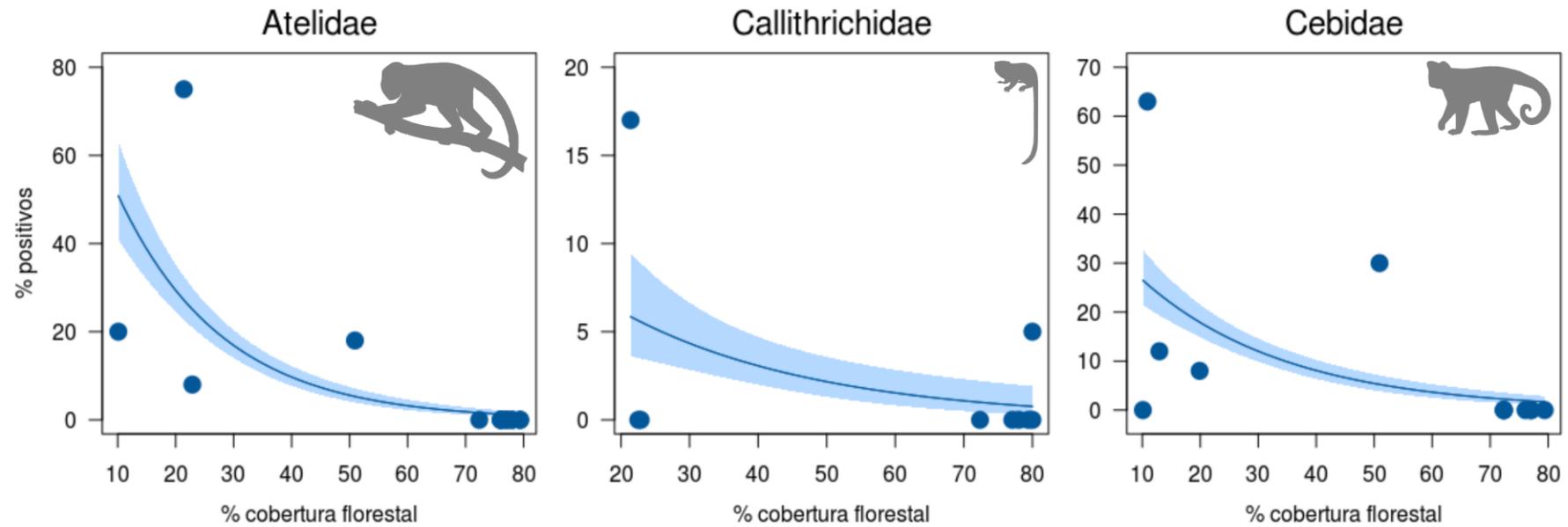
**Figura 4.** Variação taxonômica e filogenética da frequência de *T. gondii* em primatas neotropicais em cativo e vida livre. (A) Filogenia dos gêneros de primatas neotropicais. Os ramos em vermelho destacam os gêneros em que a infecção por *T. gondii* já tenha sido documentada para pelo menos uma espécie, de acordo com nosso banco de dados. (B) Gêneros de primatas neotropicais ordenados pela média da prevalência identificada para primatas de cativo e vida livre – o eixo-x mostra a distribuição da prevalência em cada gênero. (C) Prevalência média de *T. gondii* para 12 pares de gêneros de primatas (eixo-y) em condição de cativo e vida livre (eixo-x). Os pontos representam cada gênero e as linhas conectam seus pares nas duas condições. A estatística do Teste t-pareado, bem como sua significância são apresentados. De acordo com o teste, primatas de cativo possuem uma frequência média de infecção cerca de 25% maior que seus congêneres de vida-livre. As cores em (B) e (C) indicam os 12 gêneros avaliados. Topologia da árvore de Aristide et al. (2015). Ilustrações de Stephen Nash.



**Figura 5.** Efeito do nível de conhecimento sobre o gênero na sua prevalência média de *T. gondii*. Em ambos gráficos, cada ponto representa um gênero de primata neotropical, o eixo- $x$  representa o nível de conhecimento sobre o gênero medido em número de publicações científicas, o eixo- $y$  representa a prevalência média de *T. gondii* encontrada para o gênero. As linhas representam a variação média da prevalência encontrada para o gênero em função do número de publicações sobre ele, estimadas por GLMs com função de ligação log-link. As áreas coloridas representam o intervalo de confiança de 95%.



**Figura 6.** Variação da frequência de infecção por *T. gondii* em primatas neotropicais de cativoiro e vida livre por gênero (A-E) e família (F-I). As estatísticas de Kruskal-Wallis, bem como seus valores de significância são apresentados para cada comparação.



**Figura 7.** Efeito da porcentagem de cobertura florestal na paisagem na frequência de *T. gondii* em primatas vida livre. Cada ponto nos gráficos representa uma população silvestre de primatas das famílias Atelidae (A), Callithrichidae (B) e Cebidae (C), com sua prevalência de *T. gondii* (eixo-y) e o valor da cobertura florestal na paisagem em que se encontra (eixo-x). As linhas mostram como a média da prevalência na população varia em função da cobertura florestal na paisagem, ajustada com GLMs, com seu intervalo de confiança de 95% (área em azul claro). Os gráficos mostram que, para todas as famílias, a frequência de infecção tende a diminuir a medida que aumenta a porcentagem de cobertura florestal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATÃO-DIAS, J. L.; EPIPHANIO, S.; KIERULFF, M. C. M. Neotropical primates and their susceptibility to *Toxoplasma gondii*: new insights for an old problem. *In*: BRINKWORTH, J. F.; PECHENKINA, K. (Eds.). **Primates, Pathogens, and Evolution**. New York: Springer, 2013. p. 253–289.

INNES, E. A. Toxoplasmosis: comparative species susceptibility and host immune response. **Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases**, v. 20, n. 2, p. 131–138, 1997.

JENKINS, E. J. *et al.* Wildlife parasites in a One Health world. **Trends in Parasitology**, v. 31, n. 5, p. 174–180, 2015.

MONTOYA, J. G.; LIESENFELD, O. Toxoplasmosis. **Lancet**, v. 363, p. 1965–1976, 2004.

PAPPAS, G.; ROUSSOS, N.; FALAGAS, M. E. Toxoplasmosis snapshots: Global status of *Toxoplasma gondii* seroprevalence and implications for pregnancy and congenital toxoplasmosis. **International Journal for Parasitology**, v. 39, n. 12, p. 1385–1394, 2009.

WOLFE, N. D. *et al.* Wild Primate Populations in Emerging Infectious Disease Research: The Missing Link? **Emerging Infectious Diseases**, v. 4, n. 2, p. 149–158, 1998.

**ANEXO A – MATERIAL SUPLEMENTAR DO MANUSCRITO EM PREPARAÇÃO PARA *EcoHealth***
**Tabela S1.** Estudos utilizados como referências para a meta-análise sobre prevalência de *T. gondii* em primatas neotropicais.

ID	Espécie	Teste <sup>1</sup>	positivos/ testados (%)	Condição <sup>2</sup>	Localidade	Long	Lat	Referência
1	<i>Allouatta</i> sp.	RIFI/ELISA	10/20 (50)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	–	–	Bouer et al. (2010)
2	<i>Allouatta</i> sp.	LA	0/5 (0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
3	<i>Alouatta belzebul</i>	MAT	1/6 (17)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	–	–	Minervino et al. (2017)
4	<i>Alouatta belzebul</i>	RSF	0/1 (0)	VL	PA, Brasil	–	–	Nery-Guimarães e Franken (1971)
5	<i>Alouatta caraya</i>	LA	3/7 (43)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
6	<i>Alouatta caraya</i>	MAT	3/170 (18)	VL	Bacia do Rio Paraná, PR, Brasil	-53,26694	-26,77222	Garcia et al. (2005)
7	<i>Alouatta caraya</i>	MAT	3/9 (44)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	–	–	Minervino et al. (2017)
8	<i>Alouatta caraya</i>	MAT	15/20 (75)	VL	Rio Sapucaí-Mirim, SP, Brasil	-47,85014	-20,49788	Molina et al. (2014)
9	<i>Alouatta caraya</i>	MAT	1/5 (20)	VL	HVET Rio Preto, SP, Brasil	-49,33898	-21,11708	Silva et al. (2014)
10	<i>Alouatta guariba</i>	IHQ	6/32 (19)	CT	Diversos municípios, SC, Brasil	–	–	Casagrande et al. (2013)
11	<i>Alouatta guariba</i>	IHQ	0/7 (0)	VL	Diversos municípios, SC, Brasil	–	–	Casagrande et al. (2013)
12	<i>Alouatta guariba</i>	LA	0/5 (0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
13	<i>Alouatta guariba</i>	IHQ/HAI	0/3 (0)	CT	Zoológico de Passo Fundo, RS, Brasil	–	–	Grumann et al. (2017)
14	<i>Alouatta juara</i>	MAT	0/2 (0)	VL	RESEX Auati-Paraná, AM, Brasil	-66,37775	-2,02508	Elias et al. (em prep)
15	<i>Alouatta palliata</i>	RSF	0/8 (0)	VL	Barragem Bayano Darien, Panamá	-78,83630	9,14569	Frenkel e Sousa (1983)
16	<i>Alouatta seniculus</i>	MAT	0/1 (0)	VL	ESEC Jutai-Solimões, AM, Brasil	-67,59004	-3,14584	Elias et al. (em prep)
17	<i>Alouatta seniculus</i>	MAT	0/1 (0)	VL	RESEX Baixo Juruá, AM, Brasil	-65,96428	-3,54779	Elias et al. (em prep)
18	<i>Alouatta seniculus</i>	DAT	4/50 (8)	VL	Hidroeletrica Petit Saut, Guiana Francesa	-52,95749	4,98723	de Thoisy et al. (2003)
19	<i>Alouatta</i> sp.	MAT	0/1 (0)	VL	ESEC Juami-Japurá, AM, Brasil	-68,36229	-2,23376	Elias et al. (em prep)

20	<i>Aotus azarae</i>	MAT	3/25	(12)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
21	<i>Aotus nancymae</i>	HAI	6/6	(100)	CT	Parque de las Leyendas, Lima, Peru	-	-	Navarro et al. (2015)
22	<i>Aotus</i> sp.	RIFI/ELISA	0/3	(67)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	-	-	Bouer et al. (2010)
23	<i>Aotus</i> sp.	LA	1/2	(50)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
24	<i>Aotus</i> sp.	RSF	0/1	(0)	VL	PA, Brasil	-	-	Nery-Guimarães e Franken (1971)
25	<i>Aotus trivirgatus</i>	RSF	0/23	(0)	VL	Barragem Bayano Darien, Panamá	-78,83630	9,14569	Frenkel e Sousa (1983)
26	<i>Aotus trivirgatus</i>	MAT	1/2	(50)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
27	<i>Ateles belzebuth</i>	LA	0/1	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
28	<i>Ateles belzebuth</i>	MAT	0/1	(0)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
29	<i>Ateles chamek</i>	MAT	0/2	(0)	VL	ESEC Jutai-Solimões, AM, Brasil	-67,59004	-3,14584	Elias et al. (em prep)
30	<i>Ateles chamek</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX Baixo Juruá, AM, Brasil	-65,96428	-3,54779	Elias et al. (em prep)
31	<i>Ateles chamek</i>	MAT	0/1	(0)	CT	Zoológico Sorocaba, SP, Brasil	-	-	Marujo et al. (2017)
32	<i>Ateles marginatus</i>	LA	2/2	(100)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
33	<i>Ateles marginatus</i>	MAT	2/5	(40)	CT	Zoológico Sorocaba, SP, Brasil	-	-	Marujo et al. (2017)
34	<i>Ateles marginatus</i>	MAT	3/4	(75)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
35	<i>Ateles paniscus</i>	LA	3/3	(100)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
36	<i>Ateles paniscus</i>	MAT	2/3	(67)	CT	Zoológico Santarém, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2010)
37	<i>Ateles paniscus</i>	MAT	10/11	(91)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
38	<i>Ateles</i> sp.	RIFI/ELISA	4/7	(57)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	-	-	Bouer et al. (2010)
39	<i>Ateles</i> sp.	LA	1/5	(20)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
40	<i>Brachyteles arachnoides</i>	MAT	1/4	(25)	CT	Zoológico Sorocaba, SP, Brasil	-	-	Marujo et al. (2017)
41	<i>Brachyteles arachnoides</i>	HPT/IHQ	2/16	(13)	CT	Centro Primatologia, RJ, Brasil	-	-	Santos et al. (2014)
42	<i>Cacajao calvus</i>	MAT	0/2	(0)	VL	RESEX do Rio Jutai, AM, Brasil	-67,32680	-3,50611	Elias et al. (em prep)
43	<i>Callicebus cupreus</i>	MAT	0/1	(0)	VL	ESEC Jutai-Solimões, AM, Brasil	-67,59004	-3,14584	Elias et al. (em prep)
44	<i>Callicebus</i> sp.	MAT	0/2	(0)	CT	Zoológico Santarém, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2010)

45	<i>Callicebus torquatus</i>	MAT	0/1	(0)	VL	ESEC Juami-Japurá, AM, Brasil	-68,36229	-2,23376	Elias et al. (em prep)
46	<i>Callithrix aurita</i>	LA	0/2	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
47	<i>Callithrix geoffroyi</i>	LA	0/8	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
48	<i>Callithrix geoffroyi</i>	RSF	0/1	(0)	CT	Zoológico Estado Guanabara, Brasil	–	–	Nery-Guimarães e Franken (1971)
49	<i>Callithrix jacchus</i>	MAT	0/5	(0)	CT	Zoológico Sorocaba, SP, Brasil	–	–	Marujo et al. (2017)
50	<i>Callithrix jachus</i>	LA	0/25	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
51	<i>Callithrix jachus</i>	HPT	1/16	(6)	CT	Zoológico Aarhus, Dinamarca	–	–	Dietz et al. (1997)
52	<i>Callithrix jachus</i>	MAT	0/2	(0)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	–	–	Minervino et al. (2017)
53	<i>Callithrix jachus</i>	RSF	0/2	(0)	CT	Zoológico Estado Guanabara, Brasil	–	–	Nery-Guimarães e Franken (1971)
54	<i>Callithrix kuhlii</i>	LA	0/1	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
55	<i>Callithrix penicillata</i>	IHQ	1/17	(6)	CT	Diversos municípios, SC, Brasil	–	–	Casagrande et al. (2013)
56	<i>Callithrix penicillata</i>	LA	0/18	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
57	<i>Callithrix penicillata</i>	MAT	0/1	(0)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	–	–	Minervino et al. (2017)
58	<i>Callithrix penicillata</i>	MAT	8/48	(17)	VL	Rio Sapucaí-Mirim, SP, Brasil	-47,85014	-20,49788	Molina et al. (2014)
59	<i>Callithrix penicillata</i>	RSF	0/5	(0)	CT	Zoológico Estado Guanabara, Brasil	–	–	Nery-Guimarães e Franken (1971)
60	<i>Callithrix</i> sp.	RIFI/ELISA	12/42	(29)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	–	–	Bouer et al. (2010)
61	<i>Callithrix</i> sp.	LA	0/1	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	–	–	Catão-Dias et al. (2013)
62	<i>Callithrix</i> sp.	HAI	1/22	(5)	CT	CETAS-Ibama, Seropédica, RJ, Brasil	–	–	Pires et al. (2012)
63	<i>Cebus albifrons</i>	Não informado	9/22	(41)	CT	Zoológico Santa Fe, Medellin, Colômbia	–	–	Cadavid et al. (1991)
64	<i>Cebus albifrons</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX do Rio Jutai, AM, Brasil	-67,32680	-3,50611	Elias et al. (em prep)
65	<i>Cebus capuchinus</i>	Não informado	2/15	(13)	CT	Zoológico Santa Fe, Medellin, Colômbia	–	–	Cadavid et al. (1991)
66	<i>Cebus</i> sp.	RIFI/ELISA	83/105	(79)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	–	–	Bouer et al. (2010)
67	<i>Cebus</i> sp.	MAT	13/43	(30)	VL	Bacia do Rio Paraná, PR, Brasil	-53,26694	-26,77222	Garcia et al. (2005)

68	<i>Cebus</i> sp.	HAI	16/21	(76)	CT	CETAS-Ibama, Seropédica, RJ, Brasil	-	-	Pires et al. (2012)
69	<i>Chiropotes satanas</i>	MAT	0/6	(0)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
70	<i>Lagothrix lagotricha</i>	IHQ	3/4	(75)	CT	Zoológico de Sorocaba, SP, Brasil	-	-	Bouer et al. (1999)
71	<i>Lagothrix lagotricha</i>	LA	0/2	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
72	<i>Lagothrix lagotricha</i>	MAT	0/2	(0)	VL	ESEC Juami-Japurá, AM, Brasil	-68,36229	-2,23376	Elias et al. (em prep)
73	<i>Lagothrix lagotricha</i>	IHA/MAT	2/15	(13)	CT	Zoológico de Louisville, Kentucky, EUA	-	-	Gyimesi et al. (2006)
74	<i>Lagothrix lagotricha</i>	MAT	3/6	(50)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
75	<i>Lagothrix lagotricha</i>	RSF	0/1	(0)	VL	PA, Brasil	-	-	Nery-Guimarães e Franken (1971)
76	<i>Lagothrix</i> sp.	RIFI/ELISA	0/3	(0)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	-	-	Bouer et al. (2010)
77	<i>Lagothrix</i> sp.	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX Auati-Paraná, AM, Brasil	-66,37775	-2,02508	Elias et al. (em prep)
78	<i>Lagothrix</i> sp.	MAT	0/2	(0)	VL	RESEX do Rio Jutuí, AM, Brasil	-67,32680	-3,50611	Elias et al. (em prep)
79	<i>Lagothrix cana</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX Baixo Juruá, AM, Brasil	-65,96428	-3,54779	Elias et al. (em prep)
80	<i>Leontopithecus chrysomelas</i>	LA	1/46	(2)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
81	<i>Leontopithecus chrysomelas</i>	MAT	0/126	(0)	VL	Parque Estadual Serra da Tiririca, RJ, Brasil	-43,03963	-22,93452	Molina et al. (2017)
82	<i>Leontopithecus chrysopygus</i>	LA	0/1	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
83	<i>Leontopithecus rosalia</i>	LA	0/1	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
84	<i>Leontopithecus rosalia</i>	HPT	2/3	(67)	CT	Zoológico Aarhus, Dinamarca	-	-	Dietz et al. (1997)
85	<i>Leontopithecus</i> sp.	RIFI/ELISA	3/15	(20)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	-	-	Bouer et al. (2010)
86	<i>Leontopithecus</i> sp.	MAT	1/1	(100)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
87	<i>Pithecia hirsuta</i>	MAT	0/1	(0)	VL	ESEC Juami-Japurá, AM, Brasil	-68,36229	-2,23376	Elias et al. (em prep)
88	<i>Pithecia hirsuta</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX Auati-Paraná, AM, Brasil	-66,37775	-2,02508	Elias et al. (em prep)
89	<i>Pithecia monachus</i>	HAI	1/8	(13)	CT	Parque de las Leyendas, Lima, Peru	-	-	Navarro et al. (2015)
90	<i>Pithecia pithecia</i>	HPT	0/3	(0)	CT	Zoológico Aarhus, Dinamarca	-	-	Dietz et al. (1997)
91	<i>Pithecia</i> sp.	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX do Rio Jutuí, AM, Brasil	-67,32680	-3,50611	Elias et al. (em prep)

92	<i>Saguinus bicolor</i>	LA	0/2	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
93	<i>Saguinus fuscicollis</i>	MAT	0/1	(0)	VL	ESEC Juami-Japurá, AM, Brasil	-68,36229	-2,23376	Elias et al. (em prep)
94	<i>Saguinus fuscicollis</i>	MAT	0/1	(0)	VL	ESEC Jutai-Solimões, AM, Brasil	-67,59004	-3,14584	Elias et al. (em prep)
95	<i>Saguinus geoffroyi</i>	RSF	1/21	(5)	VL	Barragem Bayano Darien, Panamá	-78,83630	9,14569	Frenkel e Sousa (1983)
96	<i>Saguinus imperator</i>	MAT	0/1	(0)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
97	<i>Saguinus labiatus</i>	HPT	1/3	(33)	CT	Zoológico Aarhus, Dinamarca	-	-	Dietz et al. (1997)
98	<i>Saguinus midas</i>	LA	0/3	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
99	<i>Saguinus midas</i>	DAT	0/50	(0)	VL	Hidroeletrica Petit Saut, Guiana Francesa	-52,95749	4,98723	de Thoisy et al. (2003)
100	<i>Saguinus mystax</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX do Rio Jutai, AM, Brasil	-67,32680	-3,50611	Elias et al. (em prep)
101	<i>Saguinus niger</i>	LA	0/2	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
102	<i>Saguinus oedipus</i>	HPT	2/4	(50)	CT	Zoológico Aarhus, Dinamarca	-	-	Dietz et al. (1997)
103	<i>Saguinus oedipus</i>	RSF	0/100	(0)	VL	América do Sul	-	-	Werner et al. (1969) <i>apud</i> Nery-Guimarães e Franken (1971)
104	<i>Saguinus</i> sp.	RIFI/ELISA	0/5	(0)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	-	-	Bouer et al. (2010)
105	<i>Saguinus</i> sp.	MAT	0/4	(0)	VL	RESEX Auati-Paraná, AM, Brasil	-66,37775	-2,02508	Elias et al. (em prep)
106	<i>Saguinus</i> sp.	RSF	0/1	(0)	VL	Barragem Bayano Darien, Panamá	-78,83630	9,14569	Frenkel e Sousa (1983)
107	<i>Saimiri cassiquiarensis</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX Auati-Paraná, AM, Brasil	-66,37775	-2,02508	Elias et al. (em prep)
108	<i>Saimiri macrodon</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX Baixo Juruá, AM, Brasil	-65,96428	-3,54779	Elias et al. (em prep)
109	<i>Saimiri macrodon</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX do Rio Jutai, AM, Brasil	-67,32680	-3,50611	Elias et al. (em prep)
110	<i>Saimiri sciureus</i>	IHQ	3/50	(6)	CT	FIOCRUZ, RJ, Brasil	-	-	Andrade et al. (2007)
111	<i>Saimiri sciureus</i>	IHQ	5/9	(56)	CT	Cuernavaca, Morelos, México	-	-	Bernal et al. (2011)
112	<i>Saimiri sciureus</i>	LA	0/6	(0)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
113	<i>Saimiri sciureus</i>	HPT/IHQ/ PCR	2/8	(25)	CT	UNAM, Cidade do México, México	-	-	Cedillo-Peláez et al. (2011)
114	<i>Saimiri sciureus</i>	IFA	17/17	(100)	CT	Regents Park, Londres, Inglaterra	-	-	Cunningham et al. (1992)

115	<i>Saimiri sciureus</i>	MAT	0/9	(0)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
116	<i>Saimiri sciureus</i>	RSF	1/17	(6)	VL	PA, Brasil	-	-	Nery-Guimarães e Franken (1971)
117	<i>Saimiri sciureus</i>	HPT/IHQ/LA /PCR	4/14	(29)	CT	Zoológico Hokkaido, Japão	-	-	Nishimura et al. (2019)
118	<i>Saimiri sciureus</i>	MAT/PCR	19/24	(79)	CT	Zoológico Monkey Park, Israel	-	-	Salant et al. (2009)
119	<i>Saimiri</i> sp.	RIFI/ELISA	2/6	(33)	CT	Zoológicos diversos, SP, Brasil	-	-	Bouer et al. (2010)
120	<i>Saimiri</i> sp.	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX Auati-Paraná, AM, Brasil	-66,37775	-2,02508	Elias et al. (em prep)
121	<i>Saimiri</i> sp.	HAI	31/49	(63)	VL	Bairro Aleixo, Manaus, AM, Brasil	-59,99239	-3,08668	Ferraroni and Marzochi (1980)
122	<i>Saimiri ustus</i>	MAT	1/5	(20)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
123	<i>Sapajus apella</i>	Não informado	0/10	(0)	CT	Zoológico Santa Fe, Medellin, Colômbia	-	-	Cadavid et al. (1991)
124	<i>Sapajus apella</i>	LA	73/100	(73)	CT	Cativeiro não mencionado, Brasil	-	-	Catão-Dias et al. (2013)
125	<i>Sapajus apella</i>	MAT	4/5	(80)	CT	Cetas-Ibama, AL, PE, PB, RN e PI, Brasil	-	-	Ferreira et al. (2015)
126	<i>Sapajus apella</i>	MAT/RIFI	4/14	(29)	CT	CRAS Campo Grande, MT, Brasil	-	-	Leite et al. (2008)
127	<i>Sapajus apella</i>	MAT	4/8	(50)	CT	Zoológico Mossoró, RN, Brasil	-	-	Minervino et al. (2010)
128	<i>Sapajus apella</i>	MAT	9/13	(69)	CT	Zoológico Santarém, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2010)
129	<i>Sapajus apella</i>	MAT	55/70	(79)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
130	<i>Sapajus apella</i>	RSF	0/22	(0)	VL	PA, Brasil	-	-	Nery-Guimarães e Franken (1971)
131	<i>Sapajus apella</i>	RSF	0/4	(0)	CT	Zoológico Estado Guanabara, Brasil	-	-	Nery-Guimarães e Franken (1971)
132	<i>Sapajus apella</i>	MAT	0/1	(0)	VL	HVET Rio Preto, SP, Brasil	-49,33898	-21,11708	Silva et al. (2014)
133	<i>Sapajus flavius</i>	MAT	6/48	(13)	VL	Reserva do Engenho, PB, Brasil	-34,95693	-7,01218	Bueno et al. (2017)
134	<i>Sapajus flavius</i>	MAT	5/9	(56)	CT	Cetas-Ibama, AL, PE, PB, RN e PI, Brasil	-	-	Ferreira et al. (2015)
135	<i>Sapajus libidinosus</i>	MAT	99/116	(85)	CT	Cetas-Ibama, AL, PE, PB, RN e PI, Brasil	-	-	Ferreira et al. (2015)
136	<i>Sapajus libidinosus</i>	MAT	3/14	(21)	CT	Zoológico Parque da Cidade, Aracaju, SE	-	-	Pimentel et al. (2009)
137	<i>Sapajus macrocephalus</i>	MAT	0/1	(0)	VL	RESEX do Rio Jutai, AM, Brasil	-67,32680	-3,50611	Elias et al. (em prep)

138	<i>Sapajus nigritus</i>	MAT	2/2	(100)	CT	CENP Ananindeua, PA, Brasil	-	-	Minervino et al. (2017)
139	<i>Sapajus nigritus</i>	MAT	3/36	(8)	VL	ESEC Mata de Santa Teresa, SP, Brasil	-47,91667	-21,23333	da Silva et al. (2013)
140	<i>Sapajus</i> sp.	MAT	0/1	(0)	VL	ESEC Jutai-Solimões, AM, Brasil	-67,59004	-3,14584	Elias et al. (em prep)
141	<i>Sapajus</i> sp.	MAT	3/4	(75)	CT	Cetas-Ibama, AL, PE, PB, RN e PI, Brasil	-	-	Ferreira et al. (2015)
142	<i>Sapajus</i> sp.	IHQ/HAI	18/18	(100)	CT	Zoológico de Passo Fundo, RS, Brasil	-	-	Grumann et al. (2017)
143	<i>Sapajus xanthosternos</i>	MAT	3/4	(75)	CT	Zoológico Parque da Cidade, Aracaju, SE	-	-	Pimentel et al. (2019)
144	<i>Sapajus xanthosternos</i>	MAT	1/1	(100)	CT	Zoológico Sorocaba, SP, Brasil	-	-	Marujo et al. (2017)

<sup>1</sup> Teste utilizado no estudo: DAT: aglutinação direta; ELISA: ensaio imunoenzimático; HAI: hemaglutinação indireta; HPT: histopatológico; IHQ: imunohistoquímico; LA: aglutinação em látex; MAT: aglutinação direta modificada; PCR: reação em cadeia da polimerase; RIFI: reação de imunofluorescência; RSF: reação Sabin-Feldman.

<sup>2</sup> Condição dos animais; CT: cativo; VL: vida livre.

**REFERÊNCIAS**

- Andrade MCR, Coelho JMCDO, Amendoeira MRR, Vicente RT, Cardoso CVP, Ferreira PCB, Marchevsky RS (2007) Toxoplasmosis in squirrel monkeys: Histological and immunohistochemical analysis. *Ciência Rural* 37:1724–1727. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600034>
- Bernal AM, Ramos IM, Garnica BS, Lezama JR (2011) Toxoplasmosis outbreak in a private collection of squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) in Cuernavaca, Morelos, Mexico. *Veterinaria México OA* 42:115–124
- Bouer A, Werther K, Catão-Dias JL, Nunes AL V. (1999) Outbreak of toxoplasmosis in *Lagothrix lagotricha*. *Folia Primatologica* 70:282–285. DOI:10.1159/000021709
- Bouer A, Werther K, Machado RZ, Nakaghi ACH, Epiphanyo S, Catão-dias JL (2010) Detection of anti-*Toxoplasma gondii* antibodies in experimentally and naturally infected non-human primates by Indirect Fluorescence Assay (IFA) and indirect ELISA. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 19:26–31. <https://doi.org/10.4322/rbpv.01901005>
- Bueno MG, Catão-dias JL, Laroque P, Vasconcellos S, Soares J, Neto F, Gennari SM, Ferreira F, Laurenti MD, Umezawa ES, Kesper N, Kirchgatter K, Guimarães L, Pavanato HJ, Valença-montenegro MM (2017) Infectious Diseases in Free-Ranging Blonde Capuchins, *Sapajus flavius*, in Brazil. *International Journal of Primatology* 38:1017–1031. <https://doi.org/10.1007/s10764-017-9994-5>
- Cadavid AP, Cañas L, Estrada JJ, Ramirez LE (1991) Prevalence of anti-*Toxoplasma gondii* antibodies in *Cebus* spp in the Santa Fe Zoological Park of Medellín, Colombia. *Journal of Medical Primatology* 20:259–261
- Casagrande RA, Da Silva TCE, Pescador CA, Borelli V, Souza Jr JC, Souza ER, Traverso SD (2013) Toxoplasmose em primatas neotropicais: Estudo retrospectivo de sete casos. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 33:94–98. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000100017>
- Catão-Dias JL, Epiphanyo S, Kierulff MCM (2013) Neotropical primates and their susceptibility to *Toxoplasma gondii*: new insights for an old problem. In: Brinkworth JF, Pechenkina K (editors) *Primates, Pathogens, and Evolution*. New York: Springer pp. 253–289

- Cedillo-Peláez C, Rico-Torres CP, Salas-Garrido CG, Correa D (2011) Acute toxoplasmosis in squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) in Mexico. *Veterinary Parasitology* 180:368–371. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.03.012>
- Cunningham AA, Buxton D, Thomson KM (1992) An epidemic of toxoplasmosis in a captive colony of squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*). *Journal of Comparative Pathology* 107:207–219. [https://doi.org/10.1016/0021-9975\(92\)90037-U](https://doi.org/10.1016/0021-9975(92)90037-U)
- Silva RC, Machado GP, de Andrade Cruvinel TM, Cruvinel CA, Langoni H (2013) Frequency of *Toxoplasma gondii* antibodies in tufted capuchin monkeys (*Cebus apella nigrurus*) from an Ecological Station in the state of São Paulo, Brazil. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 33:251–253. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2013000200019>
- de Thoisy B, Demar M, Aznar C, Carme B (2003) Ecological correlates of *Toxoplasma gondii* exposure in free-ranging neotropical mammals. *Journal of Wildlife Diseases* 39:456–459. <https://doi.org/10.7589/0090-3558-39.2.456>
- Dietz HH, Henriksen P, Bille-Hansen V, Henriksen SA (1997) Toxoplasmosis in a colony of New World monkeys. *Veterinary Parasitology* 68:299–304. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(96\)01088-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01088-6)
- Ferraroni JJ, Marzochi MC de A (1980) Prevalência da infecção pelo *Toxoplasma gondii* em animais domésticos, silvestres e grupamentos humanos da Amazônia. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 75:99–109
- Ferreira DRA, Ribeiro VO, Laroque PO, Wagner PGC, Pinheiro Júnior JW, Silva JCA, Dubey JP, Rêgo EW, Mota RA (2015) Risk factors associated with *Toxoplasma gondii* infection in captive *Sapajus* spp. *American Journal of Primatology* 77:558–562. <https://doi.org/10.1002/ajp.22377>
- Frenkel JK, Sousa OE (1983) Antibodies to *Toxoplasma* in Panamanian Mammals. *Journal of Parasitology* 69:244–245. <https://doi.org/10.1645/ge-2597.1>
- Garcia JL, Svododa WK, Chryssafidis AL, Malanski LDS, Shiozawa MM, Aguiar LDM, Teixeira GM, Ludwig G, Teixeira GM, Hilst C, Navarro IT (2005) Sero-epidemiological survey for toxoplasmosis in wild New World monkeys (*Cebus* spp.; *Alouatta caraya*) at the Paraná river basin, Paraná State, Brazil. *Veterinary Parasitology* 133:307–311. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.06.004>

- Grumann MR, Da Silva Z, Filho JRS, Costa MM, Vieira MIB, Da Motta AC (2017) Immunohistochemical and serological aspects of *Toxoplasma gondii* infection in Neotropical primates. *Semina: Ciências Agrárias* 38:1375–1382. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n3p1375>
- Gyimesi ZS, Lappin MR, Dubey JP (2006) Application of assays for the diagnosis of toxoplasmosis in a colony of Woolly Monkeys (*Lagothrix lagotricha*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 37:276–280. <https://doi.org/10.1638/05-018.1>
- Leite TNB, Maja TDA, Ovando TM, Cantadori DT, Schimidt LR, Guércio AC, Cavalcanti A, Lopes FMR, Da Cunha IAL, Navarro IT (2008) Ocorrência de infecção por *Leishmania* spp. e *Toxoplasma gondii* em macacos-prego (*Cebus apella*) de Campo Grande, MS. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 17:307–310
- Marujo RB, Langoni H, Ullmann LS, Pellizzaro M, Dias Neto RDN, Camossi LG, Teixeira RF, Nunes AV, Da Silva RC, Menozzi BD (2017) *Toxoplasma gondii* antibodies and related risk factors in mammals at Sorocaba Zoo, São Paulo, Brazil. *Semina: Ciências Agrárias* 38:2845–2850. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4Supl1p2845>
- Minervino AHH, Cassinelli ABM, de Souza AJS, Alves MM, Soares M do CP, Ferreira DAC, Pereira WLA, Gennari SM (2017) Detection of *Toxoplasma gondii* antibodies in captive non-human primates in the Amazon region, Brazil. *Journal of Medical Primatology* 46:343–346. <https://doi.org/10.1111/jmp.12314>
- Minervino AHH, Soares HS, Barrêto-Júnior RA, Neves KAL, de Jesus Pena HF, Ortolani EL, Dubey JP, Gennari SM (2010) Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* Antibodies in Captive Wild Mammals and Birds in Brazil. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 41:572–574. <https://doi.org/10.1638/2010-0046.1>
- Molina CV, Catão-Dias JL, Ferreira Neto JS, Vasconcellos SA, Gennari SM, Valle RDR do, Souza GO De, Morais ZM de, Vitaliano SN, Strefezzi RDF, Bueno MG (2014) Sero-epidemiological survey for brucellosis, leptospirosis, and toxoplasmosis in free-ranging *Alouatta caraya* and *Callithrix penicillata* from São Paulo State, Brazil. *Journal of Medical Primatology* 43:197–201. <https://doi.org/10.1111/jmp.12112>

- Molina CV, Krawczak F da S, Bueno MG, Soares HS, Genari SM, Pissinati A, Kierulff MCM, Silva TF, Freitas DG, Caneli LC, Catão-Dias JL (2017) Negative serosurvey of *Toxoplasma gondii* antibodies in Golden-headed Lion Tamarin (*Leontopithecus chrysomelas*) from Niterói/RJ, Brazil. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology* 26:115–118.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612016069>
- Navarro M. D, Chávez V. A, Pinedo V. R, Muñoz D. K (2015) Factores de Riesgo Asociados a la Seroprevalencia de *Toxoplasma gondii* en Mamíferos del Orden Carnívora y Primates Mantenidos en Cautiverio. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 26:497. <https://doi.org/10.15381/rivep.v26i3.11175>
- Nery-Guimarães F, Franken AJ (1971) Toxoplasmose em primatas não-humanos II - Tentativas de infecções experimentais em *Macacca mulatta*, *Cebus apella* e *Callithrix jacchus*; e pesquisa de anticorpos em várias espécies de Platyrrhinus. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 69:97–111
- Nishimura M, Goyama T, Tomikawa S, Fereig RM, El-Alfy ESN, Nagamune K, Kobayashi Y, Nishikawa Y (2019) Outbreak of toxoplasmosis in four squirrel monkeys (*Saimiri sciureus*) in Japan. *Parasitology International* 68:79–86.  
<https://doi.org/10.1016/j.parint.2018.10.008>
- Pimentel JS, Gennari SM, Dubey JP, Marvulo MFV, Vasconcellos SA, Morais ZM, Silva JCR, Neto JE (2009) Inquérito sorológico para toxoplasmose e leptospirose em mamíferos selvagens neotropicais do Zoológico de Aracaju, Sergipe. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 29:1009–1014. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2009001200010>
- Pires JS, Ribeiro CT, De Carvalho Filho PR, Pissinatti A, Flausino W, Lopes CWG (2012) Infection by *Toxoplasma gondii* in neotropical non-human primates. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 32:1041–1044. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2012001000017>
- Salant H, Weingram T, Spira DT, Eizenberg T (2009) An outbreak of Toxoplasmosis amongst squirrel monkeys in an Israeli monkey colony. *Veterinary Parasitology* 159:24–29. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.10.011>

Santos S V., Strefezzi RF, Pissinatti A, Kanamura CT, Takakura CFH, Duarte MIS, Catão-Dias JL (2014) Detection of *Toxoplasma gondii* in two southern Woolly spider monkeys (*Brachyteles arachnoides* - Geoffroy, 1806) from the Rio de Janeiro Primate Center, Brazil. *Journal of Medical Primatology* 43:125–129. <https://doi.org/10.1111/jmp.12093>

Silva RC da, Machado GP, Cruvinel TM de A, Cruvinel CA, Langoni H (2014) Detection of antibodies to *Toxoplasma gondii* in wild animals in Brazil. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases* 20:1–4

Werner H, Janitschke K, Köhler H (1969) Über Beobachtungen an Marmoset-Affen *Saguinus (Oedipomidas) oedipus* nach oraler und intraperitonealer Infektion mit verschiedenen zystenbildenden Toxoplasma-Stämmen unterschiedlicher Virulenz. I. Mitteilung: Klinische, pathologisch-anatomische, histologis. *Zentralbl Bakteriol* 209:553–569