

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Diversidade e ecologia trófica de serpentes em um
agroecossistema**

Caio da Silveira Nunes

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas

**Piracicaba
Ano 2025**

Caio da Silveira Nunes

Diversidade e ecologia trófica de serpentes em um agroecossistema

Orientador(a):

Profª Drª **KATIA MARIA PASCHOALETTO MICCHI DE
BARROS FERRAZ**

Co-orientador(a):

Profª Drª **PLINIO BARBOSA DE CAMARGO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas

**Piracicaba
Ano 2025**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Profa. Katia Ferraz pela orientação, acolhimento e desenvolvimento deste trabalho. Também agradeço ao Prof. Plínio Barbosa pela coorientação e auxílio. Agradeço a Universidade de São Paulo e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pelo período de estudo e crescimento. Agradeço em especial a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha família, meus pais Cátia e Jacó, meu irmão Ramon, meus tios, tias, primos e primas, pelo apoio e incentivo desde a infância à curiosidade pelos animais. Agradeço em especial ao meu tio, Betão (*in memoriam*), pelas perguntas curiosas e por ver valor em minhas fotos. Agradeço a minha namorada e companheira Larissa, por sempre me incentivar e motivar com carinho e amor.

Agradeço a todos os membros do Laboratório de Ecologia Isotópica (LEI-CENA), em especial a Fabi, Thais, Sara, Toninha, Gustavo e Edimar e muitos outros pela ajuda e ensinamentos na ferramenta de isótopos estáveis. Agradeço também a Melissa Martinez e ao Prof. Antonio Martinelli pelos momentos anteriores de orientação que me trouxeram até aqui. Agradeço a todos os membros e ex-membros do Laboratório de Ecologia, Manejo e Conservação (LEMaC-USP), em especial a Zaza, Gogi, Mizo, Loisa, Kenji, Bela, Ana Almeida e Ana Carla, pela ajuda nos campos, nas corridas para resgatar serpentes, pelas risadas e apoio.

Agradeço aos meus amigos esalqueanos, Raga, João, Bia, Gi, Giulia, Zaza e Kenji pelo acolhimento, momentos, risadas e suporte. E aos meus amigos mais antigos, José, Samuel, Murilo, Marte e Guilherme.

Agradeço a todos os autores de livros, guias e artigos que me inspiraram a chegar até aqui, e agradeço as serpentes pela beleza, complexidade e existência.

“E o Dito também não conseguia mais falar direito, os dentes dele teimavam em ficar encostados, a boca mal abria, mas mesmo assim ele forcejou e disse tudo: – “Miguilim, Miguilim, eu vou ensinar o que agorinha eu sei, demais: é que a gente pode ficar sempre alegre, alegre, mesmo com toda coisa ruim que acontece acontecendo. A gente deve de poder então ficar mais alegre, mais alegre, por dentro!””

João Guimarães Rosa, Campo Geral, 1964

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE FIGURAS..... | 8 |
| LISTA DE TABELAS..... | 12 |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL..... | 13 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 2.1 Biologia, Ecologia e Distribuição das Serpentes..... | 14 |
| 2.2. Diversidade Funcional e Taxonômica..... | 16 |
| 2.3 Ecologia Trófica..... | 18 |
| 3 OBJETIVOS..... | 20 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS..... | 21 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDO..... | 21 |
| 4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 23 |
| 4.3 LEVANTAMENTO E COLETA DE AMOSTRAS..... | 23 |
| 4.3.1 CAMPUS “LUIZ DE QUEIROZ” | 23 |
| 4.3.2 MUNICÍPIO DE PIRACICABA, SÃO PAULO..... | 25 |
| 4.4 DIVERSIDADE..... | 26 |
| 4.5 RECURSOS ALIMENTARES..... | 27 |
| 4.6 ANÁLISE ISOTÓPICA..... | 28 |
| 4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 28 |
| 4.8 LICENÇAS DE PESQUISA..... | 29 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 29 |
| 5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 29 |
| 5.2 LISTA DE SERPENTES..... | 32 |
| 5.2.1 LISTA DE ESPÉCIES DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, SÃO PAULO... | 32 |
| 5.2.2 LISTA DE ESPÉCIES DO CAMPUS “LUIZ DE QUEIROZ” | 34 |
| 5.3 LOCAIS DE ENCONTRO COM SERPENTES NO CAMPUS “LUIZ DE QUEIROZ” | 35 |
| 5.4 DIVERSIDADE..... | 42 |

| | |
|--|-----------|
| 5.5 MORFOMETRIA..... | 45 |
| 5.6 COMPORTAMENTOS DEFENSIVOS..... | 47 |
| 5.7 ECOLOGIA TRÓFICA..... | 47 |
| 5.7.1 ITENS ALIMENTARES..... | 47 |
| 5.7.2 ISÓTOPOS ESTÁVEIS..... | 48 |
| 5.8 CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO..... | 55 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 60 |
| REFERÊNCIAS..... | 61 |
| APÊNDICES..... | 73 |
| APÊNDICE A - Relatório do R Markdown do cálculo da diversidade taxonômica..... | 74 |
| APÊNDICE B - Relatório do R Markdown do cálculo da diversidade funcional..... | 85 |
| ANEXOS..... | 90 |
| ANEXO A..... | 91 |

RESUMO

Diversidade e ecologia trófica de serpentes em um agroecossistema

As serpentes possuem um papel importante no equilíbrio de ecossistemas. Compreender aspectos da sua diversidade e ecologia trófica são fundamentais para compreender os papéis desempenhados pelas espécies no funcionamento dos ecossistemas. Assim, este estudo teve como objetivos investigar a diversidade de serpentes do município de Piracicaba, São Paulo, e sua ecologia trófica em um agroecossistema – campus “Luiz de Queiroz”, município de Piracicaba. O inventário de serpentes foi composto por dados disponíveis no SiBBr, por espécimes depositados na coleção do Laboratório de Zoologia de Vertebrados (LCB/ESALQ/USP) e por indivíduos capturados no campus “Luiz de Queiroz”. Os animais foram capturados por meio de busca ativa em diferentes componentes da paisagem do campus e entorno, e principalmente por encontros ocasionais de terceiros, em prédios e vias públicas. Amostras de escamas foram coletadas para a análise isotópica e fezes para identificação de itens alimentares. Os indivíduos capturados foram microchipados, e tiveram medidas morfométricas coletadas, sendo soltos no mesmo local ou translocados para um remanescente florestal próximo. A ecologia trófica foi analisada pelo conteúdo fecal e análise de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, através da técnica CF-IRMS (Continuous Flow - Isotope Ratio Mass Spectrometer). A diversidade funcional foi analisada através dos índices de riqueza funcional (FRic), uniformidade funcional (FEve) e dispersão funcional (FDis), enquanto a diversidade taxonômica foi analisada através da diversidade alfa com a técnica de curvas de rarefação. Foram registradas 27 espécies de serpentes para o município, com 10 destas registradas no campus “Luiz de Queiroz”. Por outro lado, a rarefação sugeriu uma riqueza estimada de 43 espécies. Os índices de diversidade funcional do município e do campus foram semelhantes, com exceção de FRic (1 e 0,003, respectivamente). Apesar disso, os índices de FEve e FDis sugerem uma boa qualidade da comunidade de serpentes do campus. A espécie mais abundante no campus foi *B. constrictor*, sendo identificados 5 táxons de itens alimentares (três espécies de roedores, aves e *Salvator merianae*). Na contagem de itens alimentares aves e roedores tiveram o mesmo número de ocorrências, entretanto, os isótopos estáveis revelaram que cerca de 74% da dieta de *B. constrictor* é composta por roedores e/ou *S. merianae*, com apenas 26% de aves. Também foi possível acompanhar um espécime de *B. constrictor* por 10 meses por meio de 3 capturas, sendo que na última ela estava com uma ninhada de filhotes. Ademais, estimou-se que a comunidade de serpentes do campus “Luiz de Queiroz” obtém quase 40% de suas fontes alimentares de origem C3, ou seja, fontes florestais. Isso reforça a importância dos fragmentos florestais para as fontes alimentares das serpentes mesmo em ambientes antropizados, sendo importante para a manutenção dessa comunidade. Sendo assim, este estudo demonstra a importância da aquisição de conhecimento sobre a história de vida e ecologia de serpentes em ambientes antropizados.

Palavras-chave: *Boa constrictor*, dieta, diversidade, ecologia isotópica, répteis

ABSTRACT

Diversity and trophic ecology of snakes in an agroecosystem

Snakes play an important role in the balance of ecosystems. Understanding aspects of their diversity and trophic ecology is fundamental to understanding the roles played by species in the functioning of ecosystems. Thus, this study aimed to investigate the diversity of snakes in the municipality of Piracicaba, São Paulo, and their trophic ecology in an agroecosystem – the “Luiz de Queiroz” campus, in the municipality of Piracicaba. The snake inventory was composed of data available in SiBBr, specimens deposited in the collection of the Laboratory of Vertebrate Zoology (LCB/ESALQ/USP), and individuals captured on the “Luiz de Queiroz” campus. The animals were captured through active searches in different components of the campus landscape and surroundings, and mainly through occasional encounters with third parties, in buildings and public roads. Scale samples were collected for isotopic analysis and feces for identification of food items. The captured individuals were microchipped, and morphometric measurements were collected, being released in the same location or translocated to a nearby forest remnant. Trophic ecology was confirmed by fecal content and analysis of carbon and nitrogen isotopes produced, using the CF-IRMS (Continuous Flow - Isotope Ratio Mass Spectrometer) technique. Functional diversity was demonstrated through functional richness (FRic), functional evenness (FEve), and functional dispersion (FDis) indices, while taxonomic diversity was confirmed through alpha diversity using the rarefaction curve technique. Twenty-seven snake species were recorded for the municipality, with 10 of these recorded on the “Luiz de Queiroz” campus. On the other hand, rarefaction suggested an estimated richness of 43 species. The functional diversity indices for the municipality and the campus were similar, except for FRic (1 and 0.003, respectively). Despite this, the FEve and FDis indices suggest a good quality snake community on the campus. The most abundant species on campus was *B. constrictor*, with 5 taxa of food items identified (three rodent species, birds, and *Salvator merianae*). Bird and rodent food item counts showed the same number of occurrences; however, isotope analysis revealed that approximately 74% of *B. constrictor* diet consists of rodents and/or *S. merianae*, with only 26% being birds. It was also possible to track a *B. constrictor* specimen for 10 months through 3 captures, the last of which was with a litter of offspring. Furthermore, it is estimated that the snake community on the “Luiz de Queiroz” campus obtains almost 40% of its food sources from C3 sources, i.e., forest sources. This reinforces the importance of forest fragments for snake food sources even in anthropized environments, and is crucial for the maintenance of this community. Therefore, this study demonstrates the importance of acquiring knowledge about the life history and ecology of snakes in anthropized environments.

Keywords: *Boa constrictor*, diet, diversity, isotopic ecology, reptiles

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Distribuição dos biomas Cerrado e Mata Atlântica e uso do solo no município de Piracicaba, São Paulo. A delimitação dos biomas segue o fornecido pelo IBGE (2022). O uso do solo foi obtido pela extensão do MapBiomas para QGIS (MapBiomas, 2025).....22
- Figura 2 - Imagem de satélite do campus “Luiz de Queiroz” delimitado em vermelho.....22
- Figura 3 - Mapa do campus “Luiz de Queiroz” (delimitado em azul) indicando os locais de realização dos transectos para amostragem. O uso do solo foi obtido pela extensão do MapBiomas para QGIS (MapBiomas, 2025).....24
- Figura 4 - Coleta de dados morfométricos. (A) Paisagem, (B) medida do CRC, (C) coleta de escamas ventrais e (D) serpentes acondicionadas em caixa plástica aguardando a coleta de dados.....25
- Figura 5 - Em (A) são observados quais dos 9 artigos selecionados foram citados por outro artigo selecionado e em (B) são observados o número de citações por artigo dentro da plataforma Web of Science.....31
- Figura 6 - Rede de colaboração entre os autores dos 9 artigos tratados aqui. Cada cor indica um agrupamento de pesquisadores. O tamanho do nome indica o volume de publicações do pesquisador.....32
- Figura 7 - Locais de encontros das espécies de serpentes no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP).....35
- Figura 8 - Locais de captura de serpentes no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP).....36
- Figura 9 - (A) Ponto de captura, soltura e recapturas da fêmea de *B. constrictor* (933007600743041), incluindo a distância entre os pontos em ordem cronológica, no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP). (B) Área do polígono formado pelos pontos de captura, soltura e capturas da fêmea 933007600743041. (C) Distância entre os pontos de captura e recaptura de 3 filhotes de *B. constrictor*. (D) Microhabitat que a fêmea (933007600743041) estava utilizando durante a primeira captura. (E) Local de soltura da fêmea (933007600743041). (F) Fêmea (933007600743041) junto de seus filhotes, retirados de uma toca em um

- barranco. (G) Local de encontro com o filhote 933007600743017. (H) Local de encontro com o filhote 933007600743048.....38
- Figura 10 - (A) O indivíduo de *B. constrictor* estava ao lado de um tronco, próximo a uma ponte, na qual trabalhadores estavam roçando a grama, nos arredores do campus “Luiz de Queiroz”, Piracicaba (SP). (B) Em destaque indicado pela seta vermelha o lacre que estava preso na serpente, já a seta amarela indica um ferimento em processo de cicatrização.....39
- Figura 11 - Espécies amostradas durante o projeto no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP). (A e B) *E. poecilogyrus*, (C) *E. poecilogyrus* juvenil, (D) *E. macrosoma*, (E) *C. durissus*, (F) *C. quadricarinatus* atropelado, (G) *Boa constrictor*, (H) *Oxyrhopus guibei* predado por gato doméstico, (I) *Dipsas mikanii* encontrada morta, (J) *Erythrolamprus typhlus* atropelada, (K) *Dipsas bucephala* atropelada e (L) *Oxyrhopus guibei* fêmea microchipada. Fotos A-J e L: Caio da Silveira Nunes; foto I: Leonardo Palma.....41
- Figura 12 - Curva de rarefação construída com o pacote iNext (R) com a base nos registros, a linha contínua indica a rarefação, enquanto a linha tracejada indica a extrapolação do número de espécies à medida que o esforço amostral (n° de registros) aumenta.....43
- Figura 13 - PCoA dos traços funcionais, os eixos que representam diferenças funcionais entre as espécies, agrupando aquelas que possuem traços semelhantes. Em outras palavras, espécies mais distantes ocupam nichos mais diferenciados. (A) espécies registradas no campus “Luiz de Queiroz”, Piracicaba (SP), (B) espécies depositadas no Laboratório de Zoologia de Vertebrados (LCB/ESALQ/USP), (C) todas as espécies registradas no município de Piracicaba (SP) e (D) espécies registradas no SIBBr.....44
- Figura 14 - (A) Crânio de *Oligoryzomys nigripes* encontrado no conteúdo intestinal de uma *B. constrictor*; (B) barba e bárbulas de uma pena, encontrada nas fezes de uma *B. constrictor*; (C) fragmento da cauda de *S. merianae* encontrado no intestino de *B. constrictor*; (D) *Nectomys* sp. regurgitado durante manejo por *B. constrictor* e (E) vestígio de um lagarto retirado das fezes de *E. poecilogyrus*.....48

- Figura 15 - (A) Valores isotópicos das serpentes, (B) valores isotópicos da vegetação, e (C) valores isotópicos das fontes alimentares identificadas para *B. constrictor* no campus “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.....49
- Figura 16 - Em (A) os boxplots referentes a assinatura de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$, e em (B) os boxplots de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$. O ponto ligado pela linha tracejada indica a média de cada um dos grupos.....51
- Figura 17 - Regressões lineares relacionando os resultados isotópicos e medidas morfométricas. Apenas em (A) e (B) houve significância, entretanto, o tamanho do efeito (R^2) foi baixo.....51
- Figura 18 - Em (A) elipses plotadas englobando 40% dos dados. Em (B) a frequência de área de sobreposição. Em (C) a densidade de valores calculados para SEA de machos e fêmeas.....53
- Figura 19 - Densidade de distribuição das probabilidades de proporção das fontes alimentares avaliadas para *B. constricto*. Em (A) distribuição para as fêmeas, em (B) para machos e em (C) para todos os indivíduos. A espécie apresentou em média 26,3% da dieta composta por aves e 73,7% por roedores/*S. merianae*.....54
- Figura 20 - A) e (B) apresentam os resultados isotópicos dos segmentos do guizo organizados do segmento mais antigo (à esquerda) até o mais recente e a escama ventral (à direita).....55
- Figura 21 - (A) vista lateral da folidose da cabeça de uma *O. guibei*, (B) vista dorsal da folidose da cabeça de uma *O. guibei*, (C) vista lateral da folidose da cabeça de uma *Micrurus* sp., (D) vista dorsal da folidose da cabeça de uma *H. modestus*, e (E) formas de contagem do número de fileiras de escamas dorsais.....60

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Os artigos abaixo atendiam ao tema de ecologia trófica a partir de uma abordagem isotópica..... | 30 |
| Tabela 2 - Número de espécimes por espécie das serpentes da coleção herpetológica do LZV..... | 32 |
| Tabela 3 - Registros a partir de 2000 obtidos no SiBBR..... | 33 |
| Tabela 4 - Lista de espécies de serpentes no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP) e seu método de levantamento..... | 34 |
| Tabela 5 - Número de encontros e de animais capturados para cada espécie, campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP)..... | 36 |
| Tabela 6 - Resultados do cálculo de diversidade funcional..... | 44 |
| Tabela 7 - Valores obtidos para área total do convexo (TA), área da elipse padrão (SEA) e área da elipse corrigida (SEAc)..... | 52 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

As serpentes são répteis que possuem três características marcantes: o corpo alongado com ausência de membros, o alto cinetismo craniano, e a presença da glândula de Duvernoy ou da glândula de veneno em diversas espécies. Essas características estão associadas aos seus hábitos alimentares, sendo as serpentes predadores secundários e terciários na maioria dos ecossistemas no planeta (Greene, 1997). Suas estratégias de caça variam entre a busca ativa e a caça por emboscada ou senta-e-espera (Glaudas et al., 2019). Algumas espécies podem combinar a emboscada com comportamentos de engodo, como *Bothrops jararaca*, utilizando a cauda para atrair presas (Sazima, 1991). A dieta das serpentes é altamente variada, abrangendo desde invertebrados até vertebrados, e pode ser especializada ou generalista (Greene, 1997).

Nos estudos ecológicos a riqueza é definida como o número de espécies em uma assembleia, e a diversidade taxonômica reflete um balanço entre essa riqueza e a heterogeneidade, como a abundância (Magurran, 2004; Lawton, 1994). Entretanto, essas duas medidas tendem a uniformizar o papel ecológico das espécies, não refletindo as funções desempenhadas no ecossistema. Dessa forma, a diversidade funcional utiliza as características de história de vida – como estratégia de caça das espécies para compreender a relação entre a diversidade biológica e o funcionamento do ecossistema (Tilman, 2001; González-Maya et al., 2016; Larson et al., 2021).

Por outro lado, a ecologia trófica estuda o fluxo de matéria e energia nos ecossistemas, podendo ser avaliada por meio da alimentação (Lindeman, 1942; Nielsen et al., 2018). A dieta é uma das dimensões do nicho ecológico que mais impacta na distribuição dos organismos. Portanto, compreender os recursos alimentares utilizados por uma espécie é fundamental para entender seu papel na teia trófica, sua história natural e sua distribuição geográfica (Cortés, 1999; Vitt e Caldwell, 2014). A análise de conteúdo estomacal é uma ferramenta tradicional, que estabelece relações diretas presa-predador entre os organismos. No entanto, o estado de digestão pode dificultar a identificação dos itens alimentares (Fisk et al., 2002). Nesse sentido, o uso de isótopos estáveis – como ^{15}N e ^{13}C surge como uma alternativa complementar, possibilitando a obtenção informações sobre a estrutura da cadeia alimentar e o fluxo de energia dentro do ecossistema (Jennings et al., 2002).

Apesar de Piracicaba se localizar a noroeste da capital do estado – uma região teoricamente bem conhecida quanto a amostragem de serpentes (Zaher et al., 2011) – existem poucas pesquisas que abordam a ofidiofauna local de forma específica. O conhecimento para muitas espécies de serpentes, mesmo que bem distribuídas pelos biomas, ainda apresenta lacunas, sendo provenientes de pesquisas em poucas localidades (Fiorillo et al., 2020).

Assim, este estudo teve como objetivo investigar a diversidade de serpentes e sua ecologia trófica em uma paisagem antropizada de agroecossistema, localizada no interior do estado de São Paulo (Piracicaba, SP), em uma área de domínio da Mata Atlântica Semi-Decidual, até então com pouco conhecimento sobre este grupo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biologia, Ecologia e Distribuição das Serpentes

As serpentes são répteis pertencentes ao táxon Squamata, ao qual também pertencem as anfisbenas e lagartos (Greene, 1997). Sua origem evolutiva está ligada ao Jurássico Médio, com o fóssil mais antigo remontando a 167 milhões de anos atrás, coincidindo com a irradiação de outros grandes grupos de escamados (Cardwell et al., 2015). Por outro lado, sua maior diversificação parece ter ocorrido na transição do Cretáceo-Paleógeno, a cerca de 65 milhões de anos atrás (Klein et al., 2021).

Estes animais são caracterizados pelo alongamento corporal, com perda dos membros, e por adaptações cranianas – relacionadas ao alto cinetismo, o que as possibilita a ingestão de presas maiores que a cabeça (Greene, 1997). Suas escamas, fundamentais para o revestimento do corpo e locomoção, são trocadas subitamente no processo de muda. Este processo ocorre em intervalos de tempos que variam de semanas a meses, dependendo de fatores fisiológicos e ambientais. A idade, o estágio reprodutivo, a temperatura e a disponibilidade de alimento podem influenciar na periodicidade da muda (Cliburn, 1976; Macartney, Gregory e Charland, 1990; Václav e Kolníková, 2017). Sua anatomia interna, da mesma forma, apresenta adaptações para essa forma corporal. Seu elevado número de vértebras pré-cloacais e mecanismo diferencial de acomodação visual as diferenciam de outros grupos de lagartos apódas (Greene, 1997). Apesar disso, ainda compartilham

características basais com os outros Squamata, como a presença de hemipênis pareados, usados na reprodução.

A cópula envolve a percepção de feromônios da fêmea pelo macho, seguida por um ritual de toques ondulatórios no dorso da fêmea, que caso esteja receptiva, permite a introdução do hemipênis na cloaca (Pizzatto, Almeida-Santos e Marques, 2007). Porém, em várias espécies, como *Crotalus durissus* e *Bothrops moojeni*, a cópula é antecedida por um ritual de dança combate entre os machos, disputando o acesso à fêmea. Já em outras espécies, o combate é substituído por um comportamento poligâmico, no qual vários machos se agregam ao redor de uma fêmea (Pizzatto, Almeida-Santos e Marques, 2007). A reprodução pode ocorrer de modo contínuo, com a vitelogênese ocorrendo em qualquer época do ano, por exemplo, em *Erythrolamprus poecilogyrus* e *Oxyrhopus guibei*, ou não contínuo, com a vitelogênese restrita a determinado período, como em *Boa constrictor* e *Bothrops jararaca* (Pizzatto, Almeida-Santos e Marques, 2007).

As serpentes obtêm seu alimento pela caça, podendo usar duas estratégias diferentes. Na busca ativa, a serpente desloca-se pelo substrato à procura de alimento. Já na caça por emboscada, permanece em um local esperando pela passagem da presa (Glaudas et al., 2019). Algumas espécies ainda podem combinar comportamentos de engodo junto à caça por emboscada. Dessa forma, utilizam uma parte do corpo, como a cauda, para simular um verme, atraindo presas (Heatwole e Davison, 1976). Por exemplo, o comportamento de engodo língua foi registrado para *Mesotes strigatus* no Sul do Brasil, e o engodo caudal é realizado por juvenis de algumas espécies do gênero *Bothrops* (Sazima, 1991; Mario-da-Rosa et al., 2020).

Enquanto algumas espécies são especializadas na alimentação de um único tipo de presa (p. ex., *Xenocalamus*), outras são generalistas (p. ex., *Masticophis flagellum*), alimentando-se de uma dúzia de diferentes tipos de presa (Greene, 1997). Além disso, suas presas variam desde invertebrados, como minhocas, lesmas e artrópodes, a vertebrados, como aves e mamíferos. Glaudas et al. (2019) sugerem que serpentes caçadoras por emboscada são mais oportunistas em relação às caçadoras por busca ativa. Isso estaria relacionado ao menor número de encontros com presas na caça por emboscada, porém as serpentes que usam dessa estratégia consomem, geralmente, mais tipos de presas.

Relacionado a sua alimentação está uma das características mais conhecidas desse grupo, a peçonha, a qual não está presente em todas as serpentes. Ela é originada do desenvolvimento da glândula de Duvernoy ou da glândula de veneno, presente no clado Colubroidea, que inclui famílias como Viperidae, Elapidae, Dipsadidae, Colubridae, entre outras (Greene, 1997; Jackson et al., 2017). A produção de toxinas na saliva teve evolutivamente a função primária de auxiliar na digestão das presas, que são deglutidas inteiras. Porém, mais tarde, alguns grupos derivaram essa característica para promover também o abate das presas e a defesa. Dessa forma, com exceção das regiões polares, as serpentes atuam como predadores secundários e terciários na maioria dos biomas terrestres e aquáticos do planeta (Greene, 1997).

No Brasil ocorrem 450 espécies de serpentes, divididas em 10 famílias (Guedes, Entiauspe-Neto e Costa, 2022; Uetz et al., 2025). Os biomas da Mata Atlântica e Cerrado apresentam grande riqueza de espécies, possuindo mais de 150 espécies em cada bioma, com 83 e 49 espécies endêmicas, respectivamente. Boa parte das áreas bem amostradas desses biomas encontram-se no Sudeste do Brasil, como no Estado de São Paulo (Guedes et al., 2018; Nogueira et al., 2019). Sendo assim, dentre os estados brasileiros, São Paulo configura-se como um dos estados com maior biodiversidade de serpentes conhecidas, possuindo 148 espécies, com representantes de 9 das 10 famílias presentes no país (Guedes, Entiauspe-Neto e Costa, 2022).

2.2. Diversidade Funcional e Taxonômica

Riqueza e diversidade são componentes muito difundidos nos estudos ecológicos. Riqueza, segundo Magurran (2004), pode ser definida como o número de espécies encontradas em determinada assembleia. Já a diversidade pode ser medida por diferentes índices, sendo que eles realizam de forma diferente um balanço entre riqueza e heterogeneidade (p. ex. abundância) das espécies (Magurran, 2004). Contudo, riqueza e diversidade são medidas que uniformizam as espécies em relação aos seus papéis ecológicos, condição que não reflete a realidade das diferentes funções dos organismos no ambiente (Lawton, 1994). Por outro lado, a combinação entre diversidade funcional e taxonômica (riqueza e abundância) vem sendo utilizada para compreender a relação entre padrões de funcionamento dos ecossistemas e diversidade taxonômica (Larson et al., 2021).

A diversidade funcional leva em consideração as diferentes características funcionais das espécies, auxiliando na compreensão da relação entre diversidade biológica e o funcionamento do ecossistema. Trata-se de um reflexo das relações morfológicas, comportamentais e ecológicas dentro de uma comunidade, que são ligadas ao seu processo evolutivo (Tilman, 2001; González-Maya et al., 2016). Consequentemente, também há íntima relação entre diversidade filogenética e diversidade funcional (Schweiger et al., 2018), já que as características das espécies dentro de um clado são restritas, impactando seu papel no funcionamento do ecossistema e servindo como referência para a vulnerabilidade das espécies à extinção local ou regional (Cardillo et al., 2008). Sendo assim, a compreensão dos aspectos funcionais auxilia no entendimento dos mecanismos que geram os padrões de diversidade observados no ambiente (Meynard et al., 2011).

Já a diversidade taxonômica é baseada no número de espécies (riqueza) e número de indivíduos de cada espécie (abundância) da comunidade (Krebs, 1999), possuindo formas expandidas de utilização de acordo com a finalidade desejada (Bogoni, 2023). A diversidade alfa é aquela relacionada localmente, sendo também chamada de diversidade observada (Bogoni, 2023). Um método amplamente utilizado são as curvas de rarefação ou “*rarefaction sensu*”, que utiliza a abundância das espécies para construir curvas de interpolação-extrapolação que uniformizam o esforço amostral para estimar a riqueza e permitir comparações estatísticas (Chao, Chiu e Jost, 2014).

Essas ferramentas de análise de comunidades permitem o estudo de serpentes em diferentes contextos voltados à conservação. Na ecologia de estradas, por exemplo, Rincón-Aranguri et al. (2023) ao comparar as espécies de serpentes atropeladas com as que habitam a vegetação próxima as estradas em Orinoco (Colômbia), observaram que as espécies atropeladas apresentaram maior redundância funcional, indicando que as estradas eliminam espécies com papéis semelhantes no ecossistema. Além disso, notaram que em ecossistemas savânicos a presença de vegetação nativa a um raio de 250 metros da vegetação aumenta o risco de atropelamento, enquanto a um raio de 2000 metros a vegetação parece promover a conservação da assembleia com menor risco de atropelamento.

Já na ecologia da restauração Adams et al. (2022) investigaram como o manejo florestal de restauração – em alta e baixa frequência, afetam a estruturação das comunidades de predadores em um ecossistema de pinheiros, utilizando

serpentes como grupo modelo. Eles observaram que a diversidade taxonômica foi maior nos tratamentos de alta frequência, porém, a diversidade funcional foi semelhante em ambos os tratamentos. Por outro lado, o tratamento de alta frequência também apresentou a maior redundância funcional, o que indica sua maior resiliência a distúrbios.

2.3 Ecologia Trófica

A ecologia trófica é o ramo da ecologia que estuda o fluxo de matéria e energia através do ecossistema, por meio da alimentação dos organismos. A captação de energia inicia-se com os produtores primários autótrofos, sendo transferida e dissipada pelos consumidores heterótrofos ao longo dos níveis tróficos, chegando aos decompositores (Lindeman, 1942). A descrição das interações de predação e a quantificação da energia transferida são ferramentas para a análise da estrutura da comunidade, assim como, dos mecanismos que regulam o ecossistema (Garvey e Whiles, 2016). Assim, a ecologia trófica permite a compreensão do funcionamento, complexidade e estabilidade do ecossistema, com a dieta sendo um dos seus componentes (Nielsen et al., 2018).

A dieta é provavelmente a dimensão do nicho ecológico que mais influencia a distribuição das espécies (Vitt e Caldwell, 2014). A presença ou ausência de presas, em conjunto com a presença ou ausência de predadores, é preponderante para o estabelecimento de uma população (Leite-filho et al., 2017). Nesse sentido, compreender os recursos alimentares utilizados pelas espécies, auxilia no entendimento de seu papel na teia trófica, história natural e distribuição (Cortés, 1999). Desta maneira, métodos como a análise de conteúdo estomacal se mostra como uma ferramenta importante na identificação de tais itens alimentares, permitindo estabelecer relações diretas entre presa-predador. Entretanto, por vezes os diferentes estágios de digestão dificultam a identificação e a interpretação desses resultados (Fisk et al., 2002), nesse sentido os isótopos estáveis de ^{15}N e ^{13}C podem fornecer informações complementares sobre a estrutura da cadeia alimentar e o fluxo de energia (Jennings et al., 2002).

Neste século surgiram abordagens de análise que melhoraram a compreensão dos dados obtidos (Layman et al., 2011), tornando essa uma ferramenta útil, que permite a obtenção de informações no tempo e espaço sobre os organismos estudados. De forma geral, os isótopos de ^{15}N e ^{13}C são utilizados para

estudos de teias tróficas (Martinelli et al., 2009; Layman et al., 2011). De forma simplificada, o nitrogênio é incorporado pelos produtores através do solo ou de microrganismos nitrificantes, em geral, refletindo o conteúdo isotópico do solo no qual a vegetação se desenvolveu. Entretanto, diversos processos podem influenciar neste ciclo, dificultando a interpretação dos resultados (Martinelli et al., 2009). De forma geral, com o aumento do nível trófico, há o enriquecimento da assinatura isotópica em resposta ao tipo de dieta, sendo possível definir a posição relativa dos integrantes da teia trófica (Tieszen et al., 1983; Martinelli et al., 2009; Layman et al., 2011).

Já o isótopo ^{13}C é utilizado para indicar a fonte de carbono incorporado, isso é possível por que as vias fotossintéticas C_3 e C_4/CAM (“Crassulacean acid metabolism”) discriminam de maneira diferente o ^{13}C presente no ar atmosférico. Como resultado, temos valores de $\delta^{13}\text{C}$ em plantas C_3 menos enriquecidos - variando de -33‰ a -22‰, quando comparados a plantas C_4 - variando de -11‰ a -9‰, e CAM - cerca de -18‰ a -12‰ (Vogel, 1993; Martinelli et al., 2009; Layman et al., 2011). Portanto, a análise conjunta de ambos os isótopos é capaz de fornecer informações complementares sobre o nicho ecológico estudado, assim como possíveis influências que paisagens florestais e não florestais exercem sobre a fauna silvestre (Vogel, 1993; Martinelli et al., 2009; Layman et al., 2011).

Pelas características de nicho ecológico, as serpentes podem ser utilizadas como bioindicadores por atuarem como reguladores populacionais de outras espécies, segundo Matthews, Knapp e Pope (2002). Por outro lado, pesquisas mais recentes indicam que seu potencial vai além disso. Por exemplo, Frossard et al. (2019) utilizando *Bothrops jararaca* como modelo, concluíram que as serpentes são bioindicadores adequados para avaliar a contaminação por metais pesados, como cádmio. Já Ugochukwu et al. (2024) mostraram que o grupo também é um sentinela de zoonoses e bioindicadores de qualidade ambiental. Sendo assim, configuram um grupo extremamente importante para a conservação dos ecossistemas

Apesar disso, parte das espécies é sensível à antropização (Martins e Molina, 2008), portanto, as comunidades em ambientes antropizados podem sofrer alterações em relação aos ambientes naturais. Isso inclui o risco de introdução de espécies exóticas, que ocorre mais frequentemente em ambientes modificados, como áreas urbanas e agrícolas (Marvier, Kareiva e Neubert, 2004). Algumas

dessas espécies se beneficiam das características da paisagem modificada, como sugerido por Major et al. (2025), se estabelecendo nestes locais.

A dieta também pode ser afetada pela modificação do ambiente, em mamíferos carnívoros já foi observada a ingestão mais frequente ou de quantidades maiores de alimento em ambiente urbano (Bateman e Fleming, 2012). Por outro lado, Wolfe, Bateman e Fleming (2017) observaram uma relação inversa para o elapídeo australiano *Pseudonaja affinis*. Os autores observaram que serpentes urbanas eram menores e continham presas no estômago com menor frequência, quando comparadas a serpentes não urbanas. Já Luiselli, Angelici e Akani (2001) observaram que a proporção de presas grandes na dieta de *Python sebae* em área urbana e natural na Nigéria eram semelhantes. Porém, em ambiente urbano os itens alimentares incluíram galinhas (“poultry”), cães e cabras na dieta, algo não observado em ambientes naturais, nos quais as presas médias e grandes consumidas eram compostas por morcegos (Pteropodidae, “fruit bats”), primatas, cervídeos e répteis (lagartos varanídeos e crocodilianos). Entretanto, de forma geral, ainda há uma carência de um conjunto de iniciativas para conservação e manejo das serpentes (Navega-Gonçalves e Porto, 2016), assim como uma base sólida de estudos que permitam a compreensão de que forma as espécies nativas reagem aos agroecossistemas.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi investigar a diversidade das espécies de serpentes do município de Piracicaba (São Paulo), e sua ecologia trófica em um agroecossistema (campus “Luiz de Queiroz”, município de Piracicaba, São Paulo).

Os objetivos específicos foram:

- Realizar um inventário de espécies de serpentes ocorrentes no município de Piracicaba e no campus “Luiz de Queiroz”;
- Analisar a diversidade funcional e taxonômica de espécies no município de Piracicaba e no campus “Luiz de Queiroz”;
- Comparar a diversidade funcional espécies do município de Piracicaba e do campus “Luiz de Queiroz”;
- Analisar a variedade de grupos taxonômicos predados pelas serpentes no campus “Luiz de Queiroz”;

- Analisar a predominância de fontes alimentares C_3 (áreas florestadas) ou C_4 (áreas antropizadas) ou uso misto das presas consumidas no campus “Luiz de Queiroz”;
- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o uso de isótopos estáveis em estudos com Squamata brasileiros.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O inventário e análise da diversidade de serpentes foi realizado no município de Piracicaba (22°43'30" S e 47°38'00" W; 137.806,9 ha), localizado no interior do estado de São Paulo. Oitenta e dois por cento da paisagem do município é formada por área rural, com predominância de uso do solo agropastoril (Trentin, Mattos e Ferreira, 2015; IBGE, 2023), e 18% por área urbanizada. O bioma predominante do município é a Mata Atlântica, mas o município também possui remanescentes de Cerrado (IBGE, 2023) (Figura 1). O município tem altitude média de 554 metros, com clima, segundo a classificação de Köppen, de Cfa (subtropical úmido com clima oceânico com ausência de estação seca com verão quente) (Rolim et al., 2007).

As coletas de serpentes foram realizadas no campus “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, que possui 914,5 ha, sendo 2,89% de área urbanizada (Universidade de São Paulo, 2021). A paisagem do campus é formada por um mosaico de fragmentos florestais, corredores ripários, plantios experimentais, áreas de pastagem, edificações, vias públicas, corpos e cursos d'água (Figura 2).

Com a assinatura do Termo de Ajustamento de Condutas referente ao Inquérito Civil n. 021/03 (Cooper, 2009) o campus “Luiz de Queiroz” passou por uma readequação ambiental. Sendo assim, nas últimas décadas ocorreram diversas modificações no campus, principalmente em Áreas de Preservação Permanente, havendo um incremento de área de floresta nativa reflorestada de 12,3% e também da floresta em processo de restauração, com um aumento de 106,9% (Cooper, 2018).

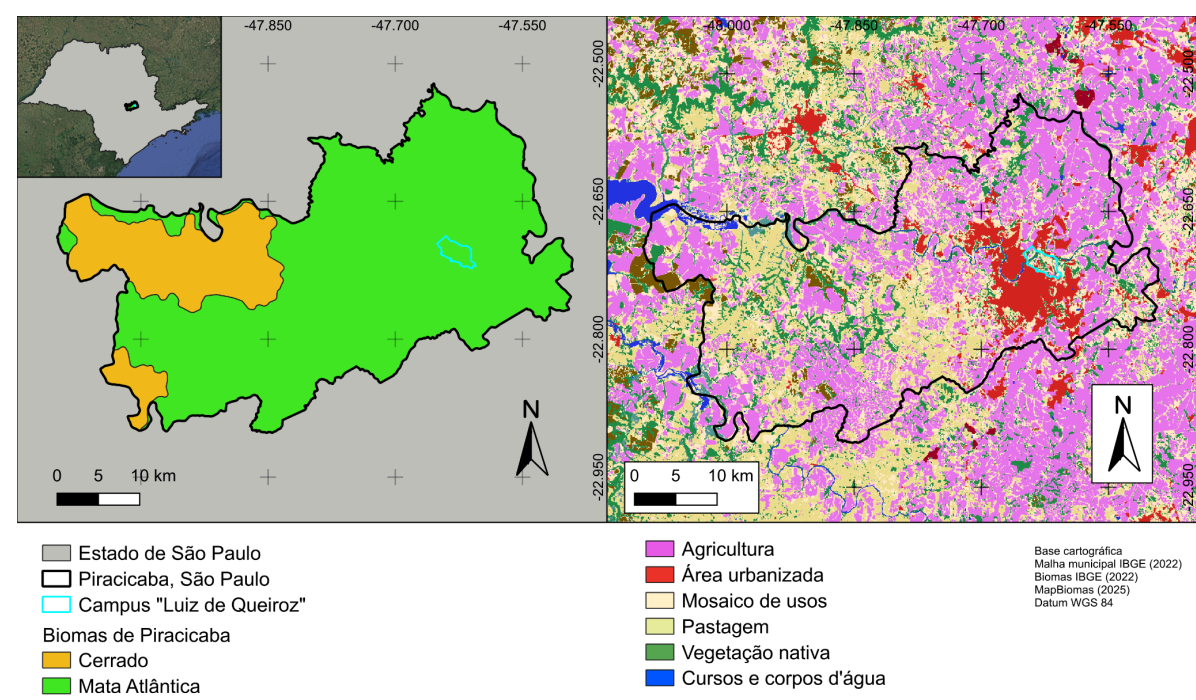


Figura 1. Distribuição dos biomas Cerrado e Mata Atlântica e uso do solo no município de Piracicaba, São Paulo. A delimitação dos biomas segue o fornecido pelo IBGE (2022). O uso do solo foi obtido pela extensão do MapBiomas para QGIS (MapBiomas, 2025).

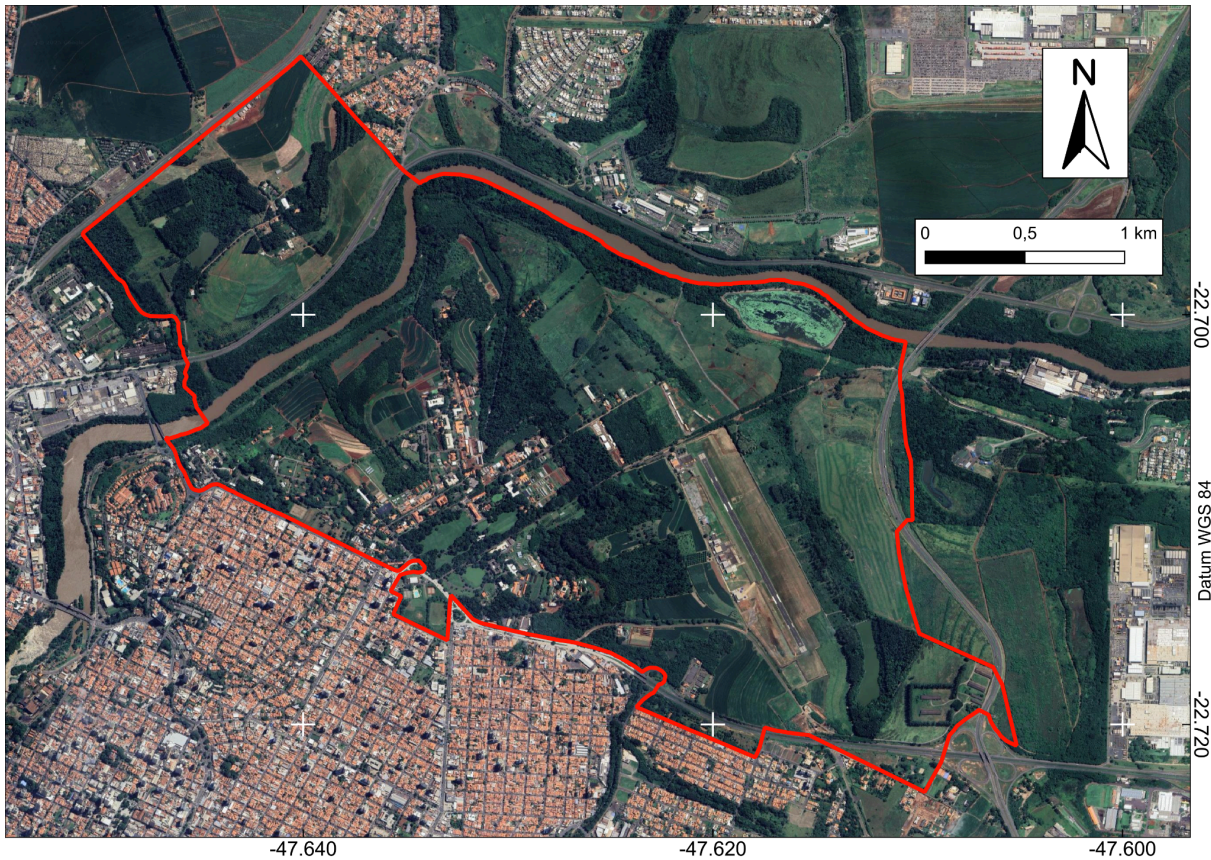


Figura 2. Imagem de satélite do campus "Luiz de Queiroz" delimitado em vermelho.

4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre as espécies registradas para o local de estudo. Além disso, em 31 de outubro de 2025, foi feita uma revisão dos estudos de ecologia trófica relacionada ao uso de isótopos estáveis com Squamata brasileiros. A combinação de palavras chave usadas foi “(stable isotopes OR isotopic ecology OR isótopos estáveis OR ecologia isotópica) AND (lagarto OR serpente OR anfisbena OR lizard OR snake OR amphisbaenian OR squamata) AND (Brazil OR Brasil)”, no repositório Web of Science. Os critérios de elegibilidade incluíram (1) abordar durante a pesquisa pelo menos um táxons de Squamata, (2) o táxon ser pertencente à fauna brasileira com dados coletados no país e (3) uso de ao menos um isótopo estável (carbono e nitrogênio) para investigar a fonte de recursos alimentares. Utilizando o pacote Bibliometrix (Aria e Cuccurulo, 2017), foram analisadas a rede de colaboração dos autores, os artigos mais citados e as referências mais utilizadas por eles.

4.3 LEVANTAMENTO E COLETA DE AMOSTRAS

4.3.1 CAMPUS “LUIZ DE QUEIROZ”

O levantamento de serpentes no campus “Luiz de Queiroz” foi realizado entre setembro de 2024 e novembro de 2025 por meio da busca ativa e de encontros ocasionais realizados por terceiros. Ele incluiu alguns registros de serpentes nas proximidades do campus. A busca ativa foi realizada em transectos (Figura 3) com esforço amostral de 86,72 horas/coletor. O esforço amostral por elemento da paisagem amostrado foi de 3 horas em área urbanizada, 18 horas em Pinus, 47 horas em uma área que a plantação experimental foi desativada (brejo) e 18,7 horas em fragmentos florestais nativos. Os transectos possuíam de 100 a 300 m, sendo percorridos com velocidade média de 120,89 m/h, no período da manhã (início entre 6:00 e 12:00, com total de 26,9 horas), tarde (início entre 12:00 e 17:30, com total de 7,4 horas) ou noite (início a partir de 17:30 horas, com total de 52,4 horas). Os encontros ocasionais de terceiros foram realizados por funcionários e estudantes do campus, os quais entraram em contato com o Laboratório de Ecologia, Manejo e Conservação de Fauna Silvestre (LCF/ESALQ/USP) via WhatsApp ou ligação telefônica, reportando a localização do animal. As espécies encontradas foram identificadas e incluídas na lista de espécies com ocorrência para o campus. Esses dados também foram utilizados para o cálculo da estimativa de riqueza e de

diversidade. Na lista final de espécies foi incluído um registro anterior ao do período do estudo da espécie *Philodryas olfersii* (24/05/2022), mas este não foi contabilizado para o cálculo dos índices de diversidade.

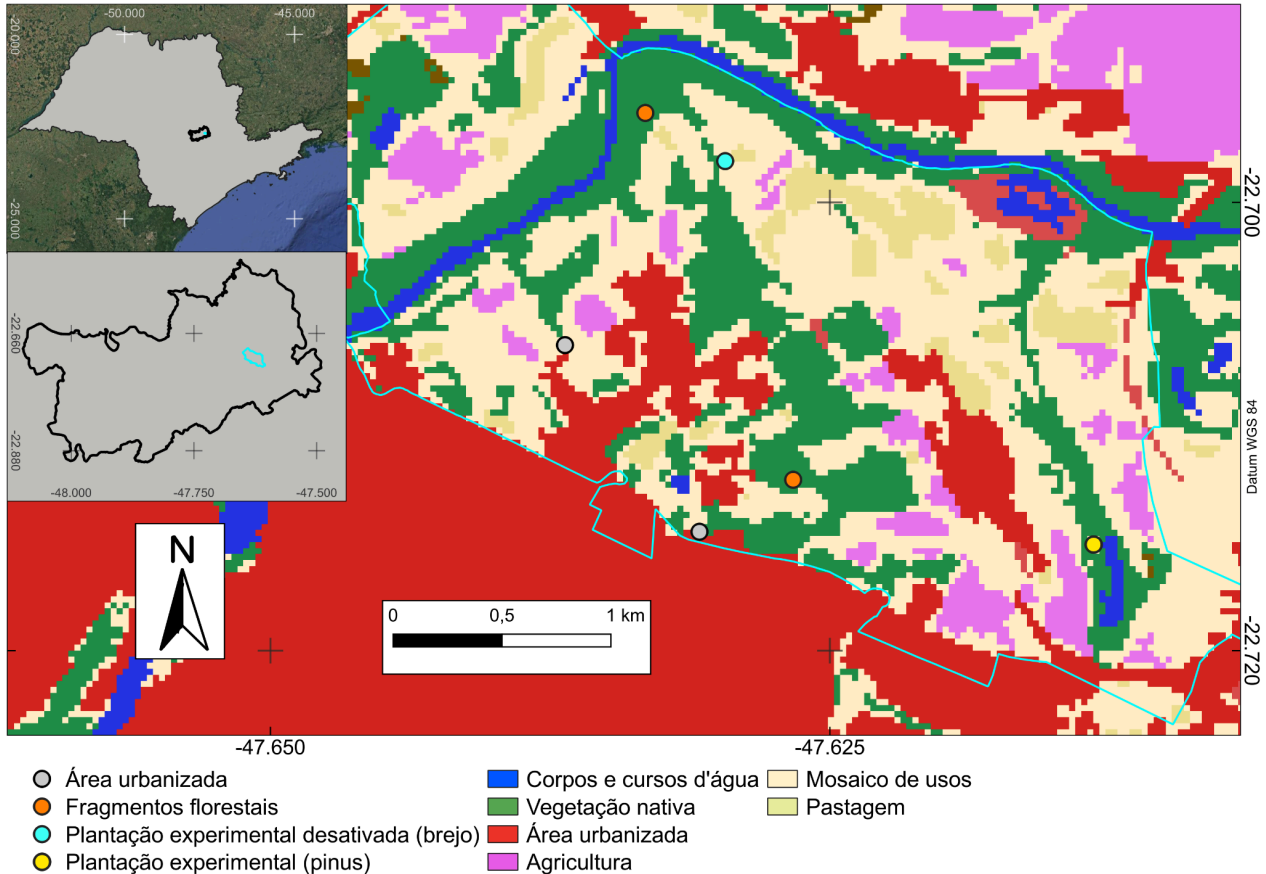


Figura 3. Mapa do campus “Luiz de Queiroz” (delimitado em azul) indicando os locais de realização dos transectos para amostragem. O uso do solo foi obtido pela extensão do MapBiomas para QGIS (MapBiomas, 2025).

Para todo animal capturado foi feita a nota das seguintes informações: hora e data do registro, coordenada GPS, método de coleta e estado de captura (nova ou recaptura). Para os animais apenas avistados foi feita a notação da espécie, hora, data e autor do envio do registro e coordenadas GPS. Os animais capturados foram acondicionados em caixas plásticas e transferidos para identificação e análise morfológica. A sexagem utilizou sondas de aço inox, o peso foi mensurado com uma pesola, os comprimentos rostro-cloacal e caudal foram tomados com trena (Figura 4). Amostras de escamas ventrais e fezes foram coletadas para análises isotópicas e de dieta, respectivamente. Por fim, os animais foram microchipados na lateral do lado esquerdo do corpo.



Figura 4. Coleta de dados morfométricos. (A) Pesagem, (B) medida do CRC, (C) coleta de escamas ventrais e (D) serpentes acondicionadas em caixa plástica aguardando a coleta de dados.

4.3.2 MUNICÍPIO DE PIRACICABA, SÃO PAULO

O inventário de serpentes para o município foi composto por espécimes depositados na coleção herpetológica do Laboratório de Zoologia de Vertebrados (Departamento de Ciências Biológicas, ESALQ) e por dados obtidos do Sistema de Informação Sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBr). Os espécimes depositados na coleção foram triados, realizando a identificação a nível específico daqueles que estavam a nível de gênero e revalidando a dos demais, corrigindo identificações equivocadas e mudanças nomenclaturais com base em literatura específica (Dixon, 1989; Passos et al., 2010; Prieto, Giraudo e López, 2012; Martinez, 2016; França, 2018; Ascenso, Costa e Prudente, 2019; Waltrick e Giasson, 2021; Schöneberg e Köhler, 2022; Duque et al., 2023). Para os dados extraídos do SiBBr foram excluídos registros anteriores a 2000 ou registros sem data publicada, evitando que registros históricos inflassem a riqueza de espécies atuais. Registros de espécies que fugiam a distribuição bem estabelecida previamente conhecida também foram excluídas (p. ex. *Apostolepis longicaudata*). Os dados foram extraídos do SiBBr em 12 de setembro de 2025 e os dados do iNaturalist em 14 de setembro de 2025.

Para sumarizar o conhecimento sobre as espécies e auxiliar em futuras pesquisas no município ou arredores, foi elaborada uma chave dicotômica de identificação para as 27 espécies registradas. Os caracteres utilizados foram observados nos espécimes depositados na coleção e consultados na literatura (Dixon, 1989; Passos et al., 2010; Prieto, Giraudo e López, 2012; Martinez, 2016; França, 2018; Ascenso, Costa e Prudente, 2019; Waltrick e Giasson, 2021; Schöneberg e Köhler, 2022; Duque et al., 2023; Veronese et al., 2025).

4.4 DIVERSIDADE

Na análise de diversidade, foi considerado que dentro do campus há uma única comunidade de serpentes. Para avaliar a diversidade funcional foram compiladas as características de vida das espécies encontradas no local, selecionando características relevantes para a compreensão da influência da heterogeneidade do agroecossistema sobre a comunidade. Foram escolhidas cinco características funcionais, sendo três categóricas, hábito locomotor (terrácola, arborícola, criptozoico ou aquático), período de atividade (diurno, noturno ou misto) e estratégia de forrageamento (ativa ou emboscada), e duas numéricas, o comprimento rostro-cloacal e a massa corporal.

Essas características foram consultadas em referências (Hartman, 2005; Sawaya et al., 2008; Barbo, 2008; Borges e Araújo, 2009; Condez, Sawaya e Dixo, 2009; Hartmann et al., 2009; Silva et al., 2010; Barbo, Marques e Sawaya, 2011; Stuginski et al., 2018; Marques, Eterovic e Sazima, 2019; Fiorillo, Maciel e Martins, 2021). Os valores calculados de diversidade taxonômica e funcional foram comparados com os encontrados para o município de Piracicaba, São Paulo.

Para informações não encontradas, como CRC médio e massa corporal média, espécimes da coleção herpetológica do Laboratório de Vertebrados do Departamento de Ciências Biológicas (ESALQ/USP) foram medidos e pesados ou foram usados dados de uma espécie de morfologia semelhante e com proximidade filogenética. Para *Bothrops neuwiedi* foi utilizado o CRC médio de *Bothrops pauloensis* (Valdujo, Nogueira e Martins, 2002). Para *Oxyrhopus clathratus*, *Tomodon dorsatus* e *Micrurus corallinus* foram usados a massa média de *Oxyrhopus trigeminus*, *Mesotes strigatus* e *Micrurus altirostris*, respectivamente (Rodríguez et al., 2018; Stuginski et al., 2018). Poderam ser pesados (sem drenagem de líquido interno) e medidos as espécies *Atractus pantostictus* (massa, n=1), *Apostolepis*

assimilis (massa, n=1), *Apostolepis dimidiata* (massa, n=3), *Dipsas bucephala* (CRC, n=2), *Echinanthera undulata* (massa, n=1), *Erythrolamprus macrosoma* (CRC, n=3, somados ao 1 indivíduo capturado), *Phalotris mertensi* (massa, n=3) e *Tropidodryas striaticeps* (massa, n=1). Para as espécies *Oxyrhopus clathratus* e *Tomodon dorsatus* não foram encontradas menções à estratégia de forrageio, por isso, usou-se a referência de uma espécie filogeneticamente próxima ou com hábito alimentar semelhante – *Oxyrhopus trigeminus* para a primeira e *Dipsas mikanii* para a segunda (alimentação de moluscos terrestres).

Para estimar a diversidade funcional foram utilizadas três medidas: riqueza funcional (FRic), uniformidade funcional (FEve) e dispersão funcional (FDis) (Mason et al., 2005; Villéger et al., 2008; Mouillot et al., 2013). A primeira medida (FRic) expressa a proporção do espaço funcional ocupado pelas espécies, ou seja, baixos valores de FRic indicam recursos não utilizados pela comunidade, isso pode indicar que a comunidade é menos resiliente a flutuações ambientais (Mason et al., 2005; Villéger et al., 2008; Mouillot et al., 2013).

A uniformidade funcional (FEve) é a forma com que a biomassa é distribuída entre os nichos ecológicos ocupados pela comunidade, ou seja, uma alta FEve indica que os nichos ocupados são bem utilizados (Mason et al., 2005; Villéger et al., 2008; Mouillot et al., 2013). A dispersão funcional (FDis) reflete a dispersão das espécies dentro do espaço funcional, ou seja, uma baixa FDis implica que várias espécies estão agrupadas em um mesmo centro funcional, indicando baixa diferenciação entre os nichos, acarretando em maior competição entre as espécies (Mason et al., 2005; Villéger et al., 2008; Mouillot et al., 2013). Os índices foram calculados com o pacote Functional Diversity do software R (Laliberté e Legendre, 2010; R Core Team, 2025).

Já para a diversidade taxonômica, foi utilizado a diversidade alfa com a técnica de curvas de rarefação, com auxílio do pacote iNEXT R (Hsieh et al., 2019; Core Team, 2025). Esse método utilizou os dados de número de indivíduos para obter valores comuns de cobertura amostral entre os locais para estimar a riqueza de espécies (Chao et al., 2014; Hsieh et al., 2019).

4.5 RECURSOS ALIMENTARES

A defecação foi estimulada em cada animal amostrado por meio de apalpação ventral, sendo armazenado em tubos plásticos com etanol 70% (Reading;

Jofré, 2013). O material permitiu a identificação dos recursos alimentares utilizados pelas espécies, possibilitando identificar vestígios de aves, mamíferos, lagartos e anfíbios consumidos. Posteriormente, as amostras passaram por lavagem em água corrente, com auxílio de duas peneiras sobrepostas, a fim de evitar a perda de material. Com o uso de um microscópio binocular o material foi identificado até o menor nível taxonômico possível. Cinco animais encontrados mortos foram submetidos a dissecação a fim de coletar o conteúdo estomacal. Quando em quantidade suficiente, o conteúdo foi preparado para análise isotópica.

4.6 ANÁLISE ISOTÓPICA

As escamas coletadas foram limpas manualmente para remoção de contaminantes, fragmentadas e moídas manualmente a uma granulometria menor que 0,250 mm. O material foi pesado (aproximadamente 0,6 a 0,8 mg) em balanças de precisão (0,001 mg), e colocadas em cápsulas de estanho para análise de carbono e nitrogênio. A técnica CF-IRMS (Continuous Flow - Isotope Ratio Mass Spectrometers) foi utilizada através da combustão “on-line” da amostra em um analisador elementar Carlo Erba (CHN-1110) para determinar as composições isotópicas (Wagner, 1992). Estas análises foram realizadas em parceria com o Prof. Dr. Plínio Barbosa de Camargo, no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, SP.

Foi adotada a notação por mil (‰) para expressar a abundância de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em relação a um padrão internacional convencionado. Para o $\delta^{13}\text{C}$ o erro analítico é na ordem de 0,3‰ e para o $\delta^{15}\text{N}$ de 0,5‰. Os resultados foram corrigidos com o índice de discriminação trófica (TDF) segundo Post (2002) de $0,40 \pm 1,30\text{‰}$ para $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $2,54 \pm 1,30\text{‰}$ para $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$.

A espécie com maior número de animais capturados foi *B. constrictor*, por isso, foi possível realizar uma análise da possível diferença na dieta entre machos e fêmeas por meio do $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O teste T de Student foi utilizado para comparar médias entre pares, para verificar a adequabilidade do modelo, seus resíduos passaram por teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e teste de homogeneidade (Levene). Para outros casos

o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado; foi considerado $p < 0,05$ como valor significativo para comparação dos valores de $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$. Então, a análise do nicho ecológico foi feita através da interpretação dos valores obtidos nos testes acima, juntamente com gráficos de dispersão, box plot, para compreender o uso de fontes de plantas C3 ou C4.

Com o pacote SIBER (Stable Isotope Bayesian Ellipses in R) do software R-4.4.3 (R Core Team, 2025), foi analisada a área elipse padrão (SEA) e área de elipse padrão corrigida (SEAc – utilizada para conjuntos de dados pequenos), assim como a sobreposição do nicho isotópico (SEAb), usando 40% dos dados do conjunto (Rabelato et al., 2020). Para isso foi feito o cálculo de área e intersecção de elipses referente a cada grupo analisado (Jackson et al., 2011). Para minimizar os efeitos do tamanho amostral na área, os valores de área total (TA – área convexa de todos os dados analisados) foram descartados. Para não basear a análise somente em valores de área pontuais, outras métricas foram utilizadas. O SEAb trata-se do cálculo da área por estimativas posteriores, nesse caso simulamos 10^4 interações do conjunto de dados. Em cada interação é calculada a área de duas elipses, dessa forma podemos testar a probabilidade de “a” diferente de “b” e também sua sobreposição.

Uma regressão linear foi utilizada para avaliar a influência da massa e CRC nos valores isotópicos. A regressão linear de Pearson foi feita agrupando machos e fêmeas como uma amostra e também como amostras separadas. As variáveis foram normalizadas pela grande diferença entre suas ordens de grandeza. Com o pacote MixSIAR (Moore e Semmens, 2008) foram construídos modelos de mistura para calcular a contribuição das fontes alimentares na composição isotópica de *B. constrictor* e também para calcular a contribuição da vegetação na composição das fontes alimentares animais. No caso da soja, utilizou o erro analítico associado a análise dos isótopos como desvio padrão, em decorrência do número de amostras ser igual a 1.

Como referência de plantas C3 e C4, nove amostras de plantas do local foram analisadas, adotando as médias de $\delta^{13}\text{C}$ de $-30,97\text{‰}$ e $-14,09\text{‰}$ para o balanço de massa (porcentagem de carbono C3 incorporado). O balanço de massa é representado pela expressão $\text{Carbono C3(\%)} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{Amostra}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{C4}}) / (\delta^{13}\text{C}_{\text{C3}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{C4}})$.

4.8 LICENÇAS DE PESQUISA

O levantamento de serpentes e coleta de amostras foi realizado sob a licença do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO), de nº 90265, e as atividades foram aprovadas pela CEUA institucional ESALQ/USP, sob o número de protocolo 5479010923. A licença englobava a área do campus “Luiz de Queiroz” e os bairros em seu entorno.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foram obtidos 16 artigos relacionados ao uso de isótopos. Após a leitura dos títulos e resumos, 7 artigos foram excluídos na etapa seguinte por tratarem da ecologia trófica de outros táxons, como poliquetas e crocodilianos, ou por abordarem aspectos distintos da ecologia trófica, como composição da peçonha (Pinto et al., 2007; Araújo et al., 2009; Checon et al., 2017; Villamarín et al., 2018; Andrades et al., 2019; Menes et al., 2019; Linhares e Bugoni, 2023).

Assim, entre 1999 e 2024, apenas 9 estudos foram publicados no Brasil utilizando a ferramenta de isótopos estáveis aplicados à ecologia (Tabela 1).

Tabela 1. Os artigos abaixo atendiam ao tema de ecologia trófica a partir de uma abordagem isotópica.

| Autor | Título |
|---------------------------|--|
| MAGNUSSON et al., 1999 | Contributions of C3 and C4 plants to higher trophic levels in an Amazonian savanna |
| MAGNUSSON et al., 2001 | Size and carbon acquisition in lizards from Amazonian savanna: Evidence from isotope analysis |
| MARTINEZ et al., 2010 | Feeding history of Crotalus durissus terrificus snakes by the analysis of carbon-13 (δ13C) isotope from the rattle |
| MARTINEZ et al., 2014 | Does the rattle of Crotalus durissus terrificus reveal its dietary history? |
| GAIOTTO et al., 2020 | Diet of invasive cats, rats and tegu lizards reveals impact over threatened species in a tropical island |
| REBELATO et al., 2020 | What do stable isotopes tell us about the trophic ecology of <i>Thamnodynastes hypoconia</i> (Serpentes: Dipsadidae) in southern Brazil? |
| MARTINS et al., 2021 | The contribution of aquatic plants to the trophic ecology of a sand dune lizard in southern Brazil |

| | |
|-------------------------|---|
| MARTINEZ et al., 2024 | Stable isotopic composition of <i>Bothrops atrox</i> (common lancehead) in four distinct land covers in eastern Amazonia |
| VILLAMARÍN et al., 2024 | Body size predicts ontogenetic nitrogen stable-isotope ($\delta^{15}\text{N}$) variation, but has little relationship with trophic level in ectotherm vertebrate predator |

Ao todo, 10 espécies de Squamata foram abordadas, sendo 1 Anolidae, 1 Liolaemidae, 1 Scincidae, 4 Teiidae, 1 Dipsadidae e 2 Viperidae, nenhuma espécie de anfisbenídeo foi abordada. Quatro estudos utilizaram apenas o $\delta^{13}\text{C}$ como marcador, quatro utilizaram conjuntamente $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, e um estudo focou em analisar o método de utilização do $\delta^{15}\text{N}$ como marcador de nível trófico intraespecífico. O artigo de Magnusson et al. (1999) foi o mais citado dentro do banco de dados do Web of Science e um dos únicos a ser citado por outro dos artigos selecionados (Figura 5).

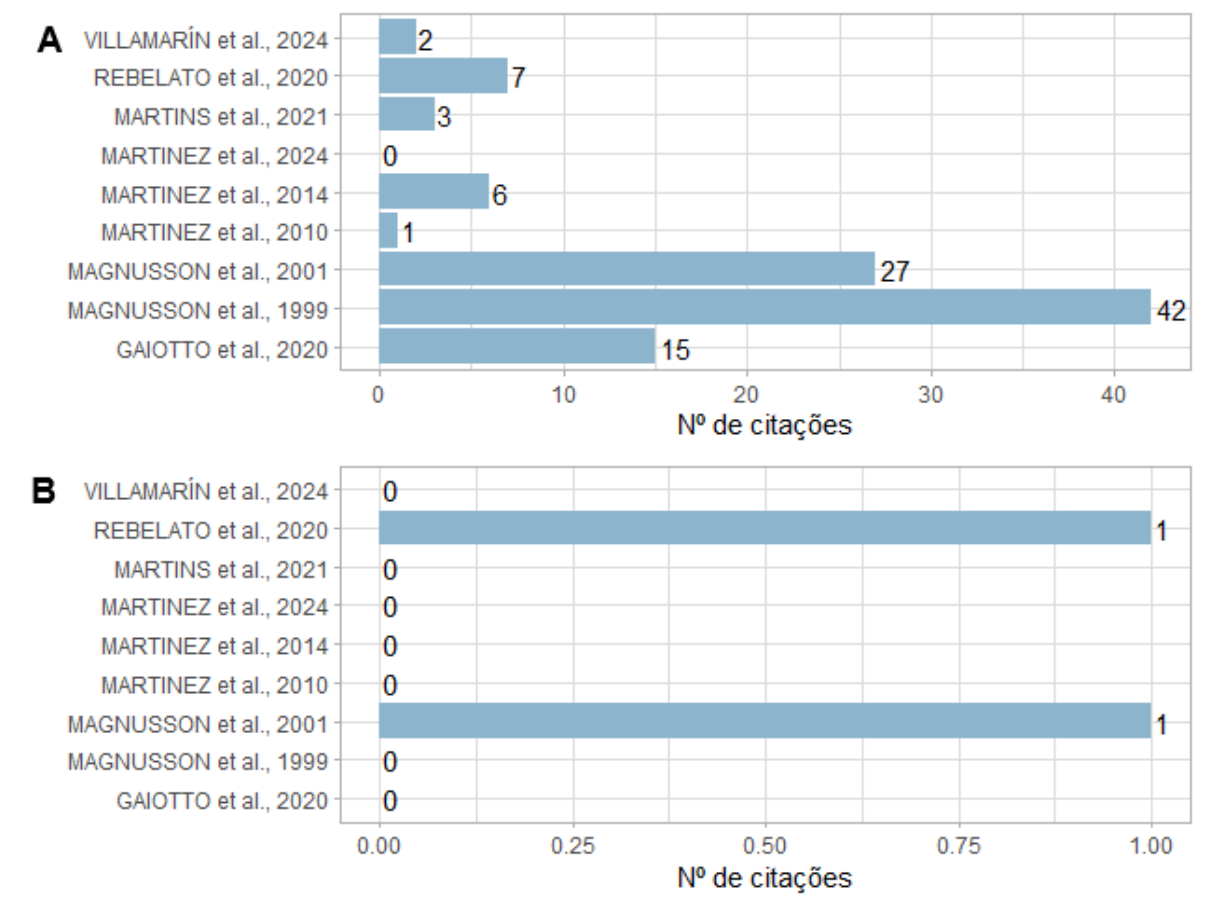


Figura 5. Em (A) são observados o número de citações por artigo dentro da plataforma Web of Science e em (B) são observados quais dos 9 artigos selecionados foram citados por outro artigo selecionado.

O baixo número de citações entre si dos artigos corrobora com a estrutura da rede de colaboração dos autores observada, nela há pouca ou nenhuma colaboração entre os grupos de pesquisa que utilizam a ferramenta de isótopos estáveis (Figura 6). Ou seja, o estado da arte do uso de isótopos estáveis aplicados à ecologia trófica ou alimentar dos Squamata brasileiros ainda é incipiente.

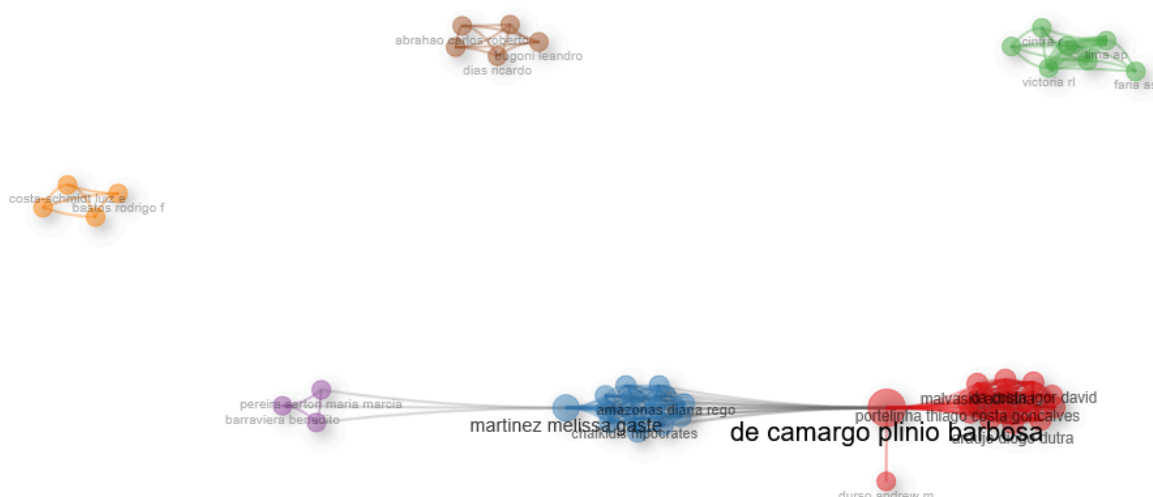


Figura 6. Rede de colaboração entre os autores dos 9 artigos tratados aqui. Cada cor indica um agrupamento de pesquisadores. O tamanho do nome indica o volume de publicações do pesquisador.

5.2 LISTA DE SERPENTES

5.2.1 LISTA DE ESPÉCIES DO MUNICÍPIO DE PIRACICABA, SÃO PAULO

Ao todo, 72 indivíduos foram analisados, divididos em 23 espécies (Tabela 2). As espécies com maior número de indivíduos foram *Helicops modestus* ($n = 22$), *Oxyrhopus guibei* ($n = 10$) e *Dipsas mikanii* ($n = 7$). As etiquetas indicaram que todos os indivíduos de *H. modestus* foram coletados em um pesqueiro da área urbana do município. Ao todo 40 espécimes foram provenientes da área rural, 6 do campus “Luiz de Queiroz” e 26 de área urbana, segundo a localidade das etiquetas. Os espécimes depositados na coleção consistem em animais encontrados mortos ou que se envolveram em interações com moradores do município e acabaram mortos, não sendo provenientes de atividades de pesquisa de campo.

Tabela 2. Número de espécimes por espécie das serpentes da coleção herpetológica do LZV.

| Família | Espécie | Nº de espécimes | Hábito | Período de atividade |
|---------|---------|-----------------|--------|----------------------|
|---------|---------|-----------------|--------|----------------------|

| | | | | |
|------------|--|----|-----------------|--------------------|
| Boidae | | | | |
| | <i>Boa constrictor</i> | 3 | Semi-arborícola | Diurno/ noturno |
| Colubridae | | | | |
| | <i>Chironius quadricarinatus</i> | 3 | Semi-arborícola | Diurno |
| Dipsadidae | | | | |
| | <i>Apostolepis assimilis</i> | 2 | Criptozóico | Diurno |
| | <i>Atractus pantostictus</i> | 1 | Criptozóico | Noturno |
| | <i>Dipsas bucephala</i> | 1 | Semi-arborícola | Noturno |
| | <i>Dipsas mikanii</i> | 7 | Terrícola | Noturno |
| | <i>Echinanthera undulata</i> | 1 | Terrícola | Diurno |
| | <i>Erythrolamprus macrosoma</i> | 1 | Terrícola | Diurno |
| | <i>Erythrolamprus typhlus</i> | 1 | Terrícola | Diurno |
| | <i>Erythrolamprus poecilogyrus</i> | 4 | Terrícola | Diurno/ noturno |
| | <i>Helicops modestus</i> | 22 | Semi-aquático | Noturno |
| | <i>Tomodon dorsatus</i> | 1 | Terrícola | Diurno |
| | <i>Tropidodryas striaticeps</i> | 1 | Semi-arborícola | Diurno |
| | <i>Oxyrhopus clathratus</i> | 1 | Terrícola | Noturno |
| | <i>Oxyrhopus guibei</i> | 10 | Terrícola | Noturno |
| | <i>Phalotris mertensi</i> | 1 | Criptozóico | Noturno |
| | <i>Philodryas olfersii</i> | 2 | Semi-arborícola | Diurno |
| | <i>Xenodon merremii</i> | 2 | Terrícola | Diurno |
| | <i>Xenodon neuwiedii</i> | 1 | Terrícola | Diurno |
| Viperidae | | | | |
| | <i>Bothrops jararaca</i> | 2 | Terrícola | Noturno |
| | <i>Bothrops jararacussu</i> | 1 | Terrícola | Diurno/ noturno |
| | <i>Bothrops moojeni</i> | 1 | Semi-arborícola | Noturno |
| | <i>Bothrops neuwiedi</i> | 1 | Terrícola | Noturno |

Já no SiBBr foram encontrados 14 registros para o município de Piracicaba ocorridos entre os anos de 2007 a 2022, sendo divididos em 7 espécies (Tabela 3). As espécies *Apostolepis dimidiata*, *Erythrolamprus miliaris* e *Micrurus corallinus* não foram observadas nas atividades de campo e na coleção do LZV. As espécies mais observadas foram *B. constrictor* (n = 6), *E. poecilogyrus* (n = 2) e *Oxyrhopus guibei* (n = 2). A maior parte dos dados disponíveis foi indexada à plataforma de ciência cidadã iNaturalist.

Tabela 3. Registros a partir de 2000 obtidos no SiBBr.

| Família | Espécie | Latitude | Longitude | Ano | Fonte |
|---------|---------|----------|-----------|-----|-------|
|---------|---------|----------|-----------|-----|-------|

| | | | | | |
|------------|------------------------------------|-------------|-------------|------|-------------|
| Boidae | | | | | |
| | <i>Boa constrictor</i> | -22,8510680 | -47,9393200 | 2007 | iNaturalist |
| | <i>Boa constrictor</i> | -22,8510680 | -47,9393200 | 2007 | iNaturalist |
| | <i>Boa constrictor</i> | -22,6761620 | -47,5620280 | 2022 | iNaturalist |
| | <i>Boa constrictor</i> | -22,7040750 | -47,6246070 | 2019 | iNaturalist |
| | <i>Boa constrictor</i> | -22,7040750 | -47,6246070 | 2019 | iNaturalist |
| | <i>Boa constrictor</i> | -22,7079470 | -47,6250390 | 2022 | iNaturalist |
| Dipsadidae | | | | | |
| | <i>Apostolepis dimidiata</i> | -22,7355890 | -47,6478560 | 2014 | UFJF |
| | <i>Erythrolamprus miliaris</i> | -22,7250000 | -47,6475000 | 2014 | ICMBio |
| | <i>Erythrolamprus poecilogyrus</i> | -22,7355890 | -47,6478560 | 2014 | UFJF |
| | <i>Erythrolamprus poecilogyrus</i> | -22,8476830 | -47,9483130 | 2015 | iNaturalist |
| | <i>Oxyrhopus guibei</i> | -22,8511530 | -47,9390350 | 2020 | iNaturalist |
| | <i>Oxyrhopus guibei</i> | -22,6774220 | -47,5649120 | 2021 | iNaturalist |
| Elapidae | | | | | |
| | <i>Micrurus corallinus</i> | -22,7356580 | -47,5256300 | 2024 | iNaturalist |
| Viperidae | | | | | |
| | <i>Bothrops jararaca</i> | -22,8521220 | -47,9357890 | 2013 | iNaturalist |

5.2.2 LISTA DE ESPÉCIES DO CAMPUS “LUIZ DE QUEIROZ”

Ao todo, 10 espécies foram registradas para o campus, divididas em quatro famílias. A família com maior número de espécies foi a Dipsadidae – 6 espécies, sendo 3 do gênero *Erythrolamprus*.

Tabela 4. Lista de espécies de serpentes no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP) e seu método de levantamento. A espécie *Philodryas olfersii* foi registrada anteriormente ao período do estudo, por encontro ocasional.

| Família | Espécie | Busca ativa | Encontro de Terceiros | Hábito | Período de atividade |
|------------|------------------------|-------------|-----------------------|-----------------|----------------------|
| Boidae | | | | | |
| | <i>Boa constrictor</i> | Não | Sim | Semi-arborícola | Diurno/ noturno |
| Colubridae | | | | | |
| | <i>Chironius</i> | Não | Sim | Semi-arborícola | Diurno |

| | | | | | |
|------------------------------------|-----|-----|-----------------|--------------------|--|
| <i>quadricarinatus</i> | | | | | |
| Dipsadidae | | | | | |
| <i>Dipsas bucephala</i> | Não | Sim | Semi-arborícola | Noturno | |
| <i>Dipsas mikanii</i> | Sim | Sim | Terrícola | Noturno | |
| <i>Erythrolamprus macrosoma</i> | Não | Sim | Semi-aquático | Diurno | |
| <i>Erythrolamprus poecilogyrus</i> | Sim | Não | Terrícola | Diurno/ noturno | |
| <i>Erythrolamprus typhlus</i> | Não | Sim | Terrícola | Diurno | |
| <i>Oxyrhopus guibei</i> | Não | Sim | Terrícola | Noturno | |
| <i>Philodryas olfersii</i> | - | - | Semi-arborícola | Diurno | |
| Viperidae | | | | | |
| <i>Bothrops jararaca</i> | Não | Sim | Terrícola | Noturno | |
| <i>Crotalus durissus</i> | Não | Sim | Terrícola | Noturno | |

5.3 LOCAIS DE ENCONTRO COM SERPENTES NO CAMPUS “LUIZ DE QUEIROZ”

O mapa dos locais de encontro das espécies (i. e., avistamentos que podem ou não resultar em captura) no campus mostra que a maior parte dos encontros concentra-se na área urbana do campus, provavelmente pelo fato do encontro ocasional de terceiros ser o método de amostragem mais eficaz neste estudo (Figura 7).

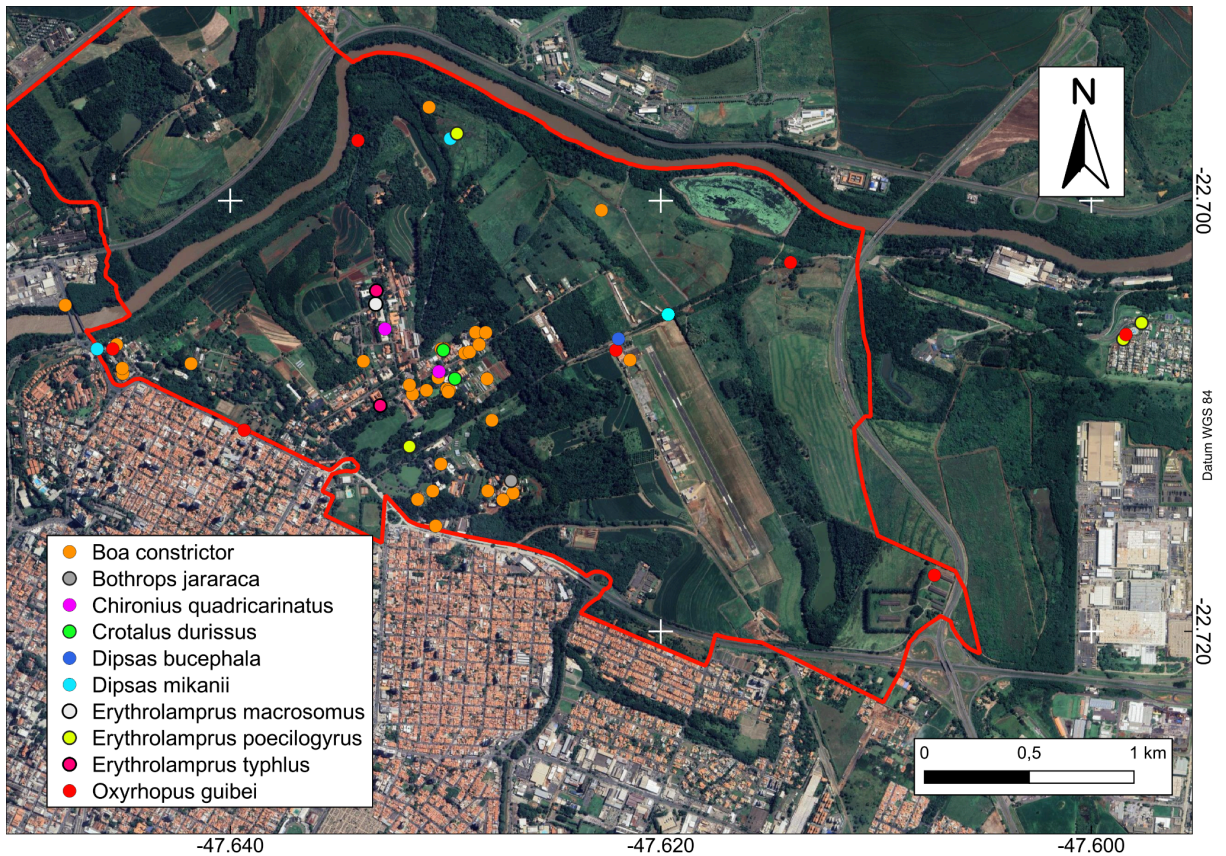


Figura 7. Locais de encontros das espécies de serpentes no campus "Luiz de Queiroz", em Piracicaba (SP).

Já em parte dos encontros foi possível realizar a captura do animal (Figura 8). O número total de encontros e número de animais capturados está resumido na Tabela 5. A espécie que teve o maior número de encontros foi a *B. constrictor*, reportada por encontro ocasional de terceiro. Também sendo a mais abundante neste estudo, com 26 espécimes capturados (12 adultos e 14 filhotes).

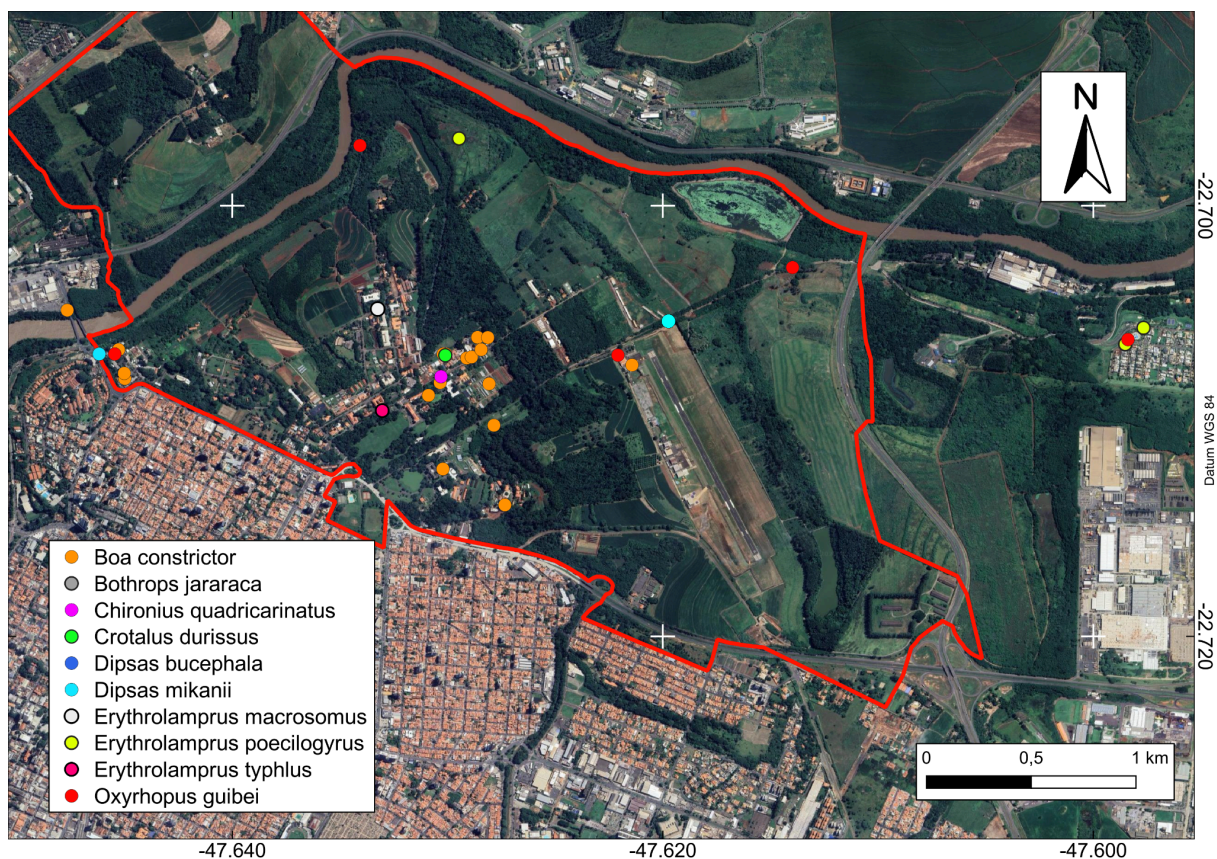


Figura 8. Locais de captura de serpentes no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP).

Tabela 5. Número de encontros e de animais capturados para cada espécie, campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP).

| Espécie | Encontros | Número de animais capturados | Classe etária |
|------------------------------------|-----------|------------------------------|--------------------------|
| <i>Boa constrictor</i> | 36 | 26* | 22 adultos e 14 filhotes |
| <i>Chironius quadricarinatus</i> | 2 | 1 | 2 adultos |
| <i>Dipsas bucephala</i> | 1 | 0 | 1 adulto |
| <i>Dipsas mikanii</i> | 3 | 2 | 3 adultos |
| <i>Erythrolamprus macrosomus</i> | 1 | 1 | 1 adulto |
| <i>Erythrolamprus poecilogyrus</i> | 3 | 3 | 2 adultos e 1 filhote |
| <i>Erythrolamprus typhlus</i> | 2 | 1 | 2 filhotes |
| <i>Oxyrhopus guibei</i> | 6 | 5 | 3 adultos e 3 filhotes |
| <i>Bothrops jararaca</i> | 1 | 0 | 1 adulto |
| <i>Crotalus durissus</i> | 3 | 2 | 2 adultos e 1 filhote |

| | | | |
|-------|----|----|--------------------------|
| Total | 58 | 41 | 37 adultos e 21 filhotes |
|-------|----|----|--------------------------|

*13 filhotes e 1 fêmea adulta foram encontrados no mesmo local e dia.

Uma das serpentes, uma fêmea microchipada (933007600743041), foi capturada em 01/03/2024 e recapturada em 06/06/2024, a 100 metros do ponto da primeira captura e 260 metros do ponto de soltura. No momento da primeira captura a fêmea pesava 4340 g, já durante a recaptura ela apresentou 4035 g.

Posteriormente, em 21/01/2025, a mesma fêmea foi novamente recapturada, desta vez com 2330 g. Nessa ocasião, ela foi observada utilizando uma toca de tatu como abrigo, a 175 metros do local da primeira recaptura (Figura 9), acompanhada de 13 filhotes (um 14º filhote foi capturado dois dias depois). A área do polígono formado pelos pontos nos quais a fêmea foi capturada e translocada possui 1,51 ha, assumimos que isso é uma aproximação de sua área de vida no local. Boídeos do gênero *Eunectes* apresentam, de forma geral, áreas de vida maiores que o observado aqui (Smaniotto et al., 2020), enquanto *Chilabothrus inornatus* apresentou área semelhante (Puente-Rolón e Bird-Picó, 2004).

Um dos filhotes (uma fêmea, 933007600743048) foi recapturado em 06/03/2025, a aproximadamente 185 metros do ponto da primeira captura e soltura (Figura 9). Um segundo filhote (uma fêmea, 933007600743017) foi recapturado quase duas semanas depois, a 66 metros do local de nascimento. Dois meses depois um terceiro filhote (uma fêmea, 933007600743007) foi encontrado morto, a 245 metros do local de nascimento (Figura 9).

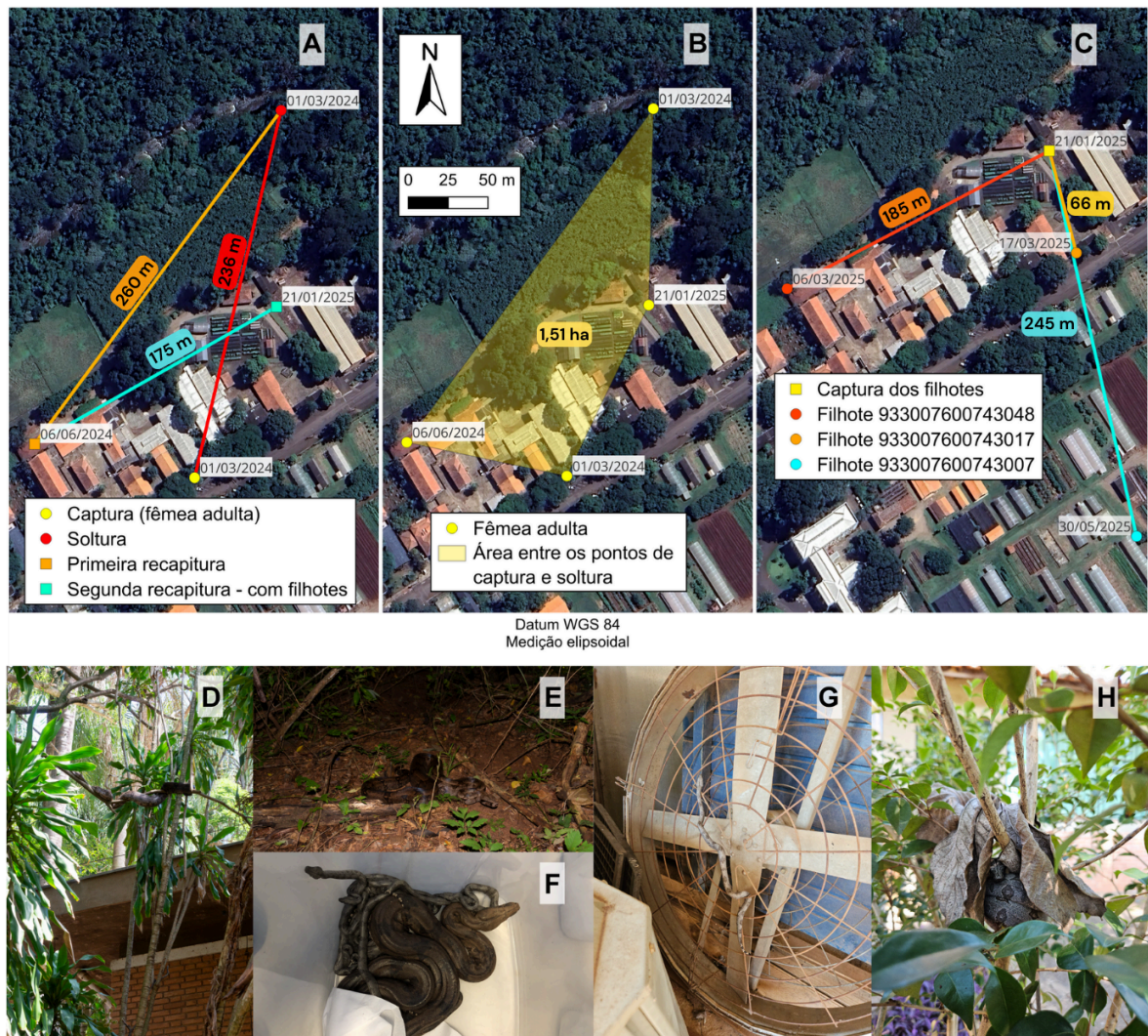


Figura 9. (A) Ponto de captura, soltura e recapturas da fêmea de *B. constrictor* (933007600743041), incluindo a distância entre os pontos em ordem cronológica, no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP). (B) Área do polígono formado pelos pontos de captura, soltura e capturas da fêmea 933007600743041. (C) Distância entre os pontos de captura e recaptura de 3 filhotes de *B. constrictor*. (D) Microhabitat que a fêmea (933007600743041) estava utilizando durante a primeira captura. (E) Local de soltura da fêmea (933007600743041). (F) Fêmea (933007600743041) junto de seus filhotes, retirados de uma toca em um barranco. (G) Local de encontro com o filhote 933007600743017. (H) Local de encontro com o filhote 933007600743048.

Além disso, um macho de *B. constrictor* foi visto por terceiros e capturado nas imediações do campus, ele estava com um lacre de garrafa preso em seu corpo. O lacre causou lesões leves no tegumento do indivíduo, e também, provavelmente estava impedindo que o alimento deglutido passasse pelo esôfago (Figura 10). Com o manejo, o animal rapidamente regurgitou um roedor, que apresentou cheiro fétido.

Este caso evidencia um impacto causado por lixo plástico descartado de maneira inadequada sobre a herpetofauna.



Figura 10. (A) O indivíduo de *B. constrictor* estava ao lado de um tronco, próximo a uma ponte, na qual trabalhadores estavam roçando a grama, nos arredores do campus “Luiz de Queiroz”, Piracicaba (SP). (B) Em destaque indicado pela seta vermelha o laço que estava preso na serpente, já a seta amarela indica um ferimento em processo de cicatrização.

O único registro realizado para a *Bothrops jararaca* foi feito em 03/01/2023, na fotografia o animal estava no solo, sendo possível observar apenas que tratava-se de um animal adulto. Para *C. durissus* houveram dois registros feitos, um notificado à guarda do campus em 23/08/2023, no qual o animal se encontrava no solo (calçada, na área urbana). Um segundo animal foi capturado em 04/03/2024, também em área urbana.

A espécie *C. quadricarinatus* foi primeiramente registrada por meio de um vídeo encaminhado por terceiros ao Projeto Vizinhos Silvestres em 22/02/2024. Um segundo espécime foi encontrado em 13/10/2024, após a publicação de um vídeo nos stories do Instagram que o mostrava atravessando uma rua. Ao chegarmos ao local, o animal já se encontrava morto sobre a via, provavelmente devido a atropelamento.

Um único espécime de *D. bucephala* foi registrado fotograficamente após ser atropelada na Avenida Pedro Morganti, que corta o campus. Tratava-se de uma fêmea, identificada pela presença de dois ovos (Figura 11). No entanto, quando a

equipe chegou ao local, o espécime já havia desaparecido. Outra espécie encontrada a partir de um atropelamento foi *E. typhlus* no dia 06/11/2024 um animal juvenil foi encontrado atropelado por terceiros e coletado pelo autor. Um registro anterior por fotografia de terceiros foi enviado ao autor no dia 23/10/2024, porém a foto foi tirada no dia anterior ao envio.

Duas espécies foram primeiro registradas por busca ativa. *D. mikanii* teve o primeiro animal que foi registrado durante a busca ativa no dia 12/10/2024. Um segundo espécime foi coletado morto, ele estava pendurado na cerca do campus com marcas de trauma pelo corpo. Já um espécime de *E. poecilogyrus* encontrado durante a busca ativa no dia 12/10/2024, poucos minutos após o registro de *D. mikanii*, ele estava se movendo no solo entre a vegetação em uma vala.

Durante o presente estudo duas espécies sofreram com tentativas de predação por gatos domésticos ferais. Um espécime de *E. macrosomus* foi registrado por encontro de terceiro, visto sofrendo uma tentativa de predação próximo ao restaurante universitário. A predação foi interrompida pela aproximação das pessoas e o autor foi contatado, conseguindo capturar a serpente que possuía alguns arranhões na porção anterior e cauda. Já um espécime de *O. guibei* foi morto por gatos domésticos ferais no aeroporto dentro da área do campus no dia 27/08/2024. Os funcionários do aeroporto contataram o laboratório e o espécime foi coletado. Esses casos corroboram com os dados coletados por Campos et al. (2007), que observaram a presença de répteis na dieta de gatos domésticos ferais do campus “Luiz de Queiroz”, indicando o impacto que estes animais causam na fauna nativa. Além disso, entre 8 de julho e 5 de setembro foram capturados 2 filhotes de *Oxyrhopus guibei* e um terceiro foi encontrado atropelado na Avenida Pedro Morganti, o que indica que os nascimentos de filhotes dessa espécie pode ocorrer durante a estação seca.



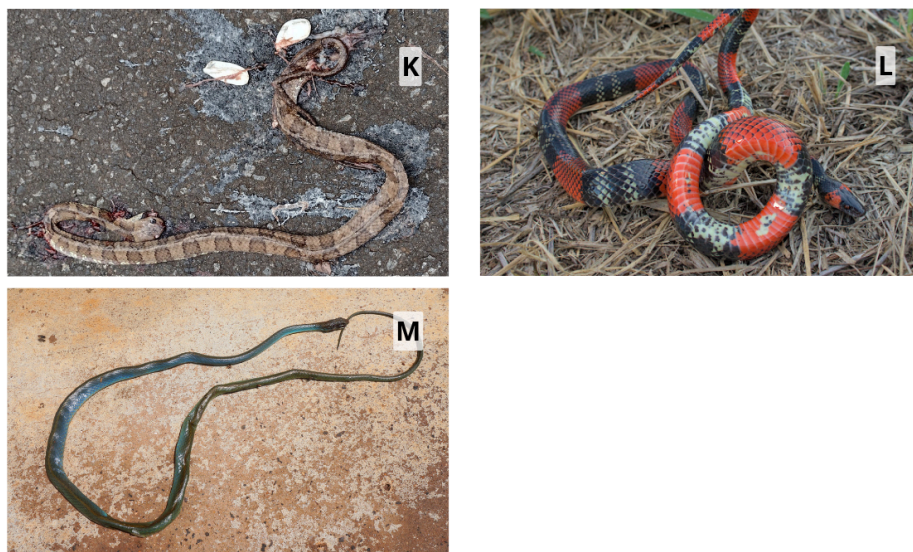


Figura 11. Espécies amostradas durante o projeto no campus “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba (SP). (A e B) *E. poecilogyrus*, (C) *E. poecilogyrus* juvenil, (D) *E. macrosoma*, (E) *C. durissus*, (F) *C. quadricarinatus* atropelado, (G) *Boa constrictor*, (H) *Oxyrhopus guibei* predado por gato doméstico, (I) *Dipsas mikanii* encontrada morta, (J) *Erythrolamprus typhlus* atropelada, (K) *Dipsas bucephala* atropelada e (L) *Oxyrhopus guibei* fêmea microchipada, (M) *Philodryas olfersii* macho morto com a cabeça esmagada ao lado da rua. Fotos A-J e L-M: Caio da Silveira Nunes; foto I: Leonardo Palma.

5.4 DIVERSIDADE

A riqueza de espécies observada para o campus “Luiz de Queiroz” foi de 10 espécies, ao construir a curva de rarefação com os registros coletados observou-se que a curva está próxima de atingir o platô previsto pela extrapolação. As estimativas apontam para a presença de 11,95 espécies na no campus (Figura 10). Na coleção do LZV a riqueza observada consistiu em 23 espécies, enquanto a riqueza estimada calculada foi de 43,82 espécies. Os dados obtidos do SiBBr registraram uma riqueza observada de 7 espécies, com uma estimativa de ocorrência de 13,83, um valor semelhante ao do campus “Luiz de Queiroz”. Ao todo, somando os registros de todas as fontes de dados, foram observadas 27 espécies para o município, com riqueza estimada de 43,77 espécies.

Como se esperava de uma amostra dentro do município, o campus “Luiz de Queiroz” representa pouco mais de um terço da riqueza de espécies do município de Piracicaba. Os resultados também demonstram a importância das coleções científicas, mesmo que pequenas para o estudo da herpetofauna regional.

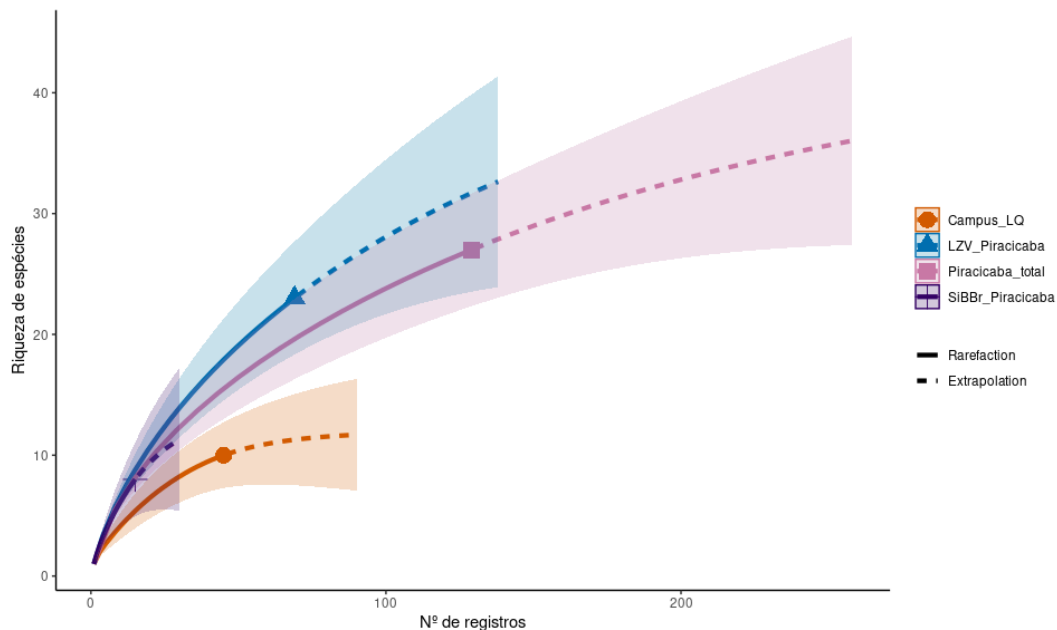


Figura 12. Curva de rarefação construída com o pacote iNext (R) com a base nos registros, a linha contínua indica a rarefação, enquanto a linha tracejada indica a extrapolação do número de espécies à medida que o esforço amostral (nº de registros) aumenta.

Os valores calculados de FEve, FDis e FRic estão resumidos na Tabela 6. O campus “Luiz de Queiroz” apresentou um valor de FEve superior ao do município, isso sugere que a biomassa da comunidade de espécies do campus é mais distribuída entre os nichos ecológicos em relação ao município. Ambos os valores indicam que a distribuição da biomassa é equilibrada, não havendo espécies notadamente dominantes. Já a FDis foi um pouco inferior, porém ambos os valores sugerem que as espécies estão relativamente dispersas no espaço funcional, não havendo uma grande aglomeração delas em relação a um mesmo centro funcional (Figura 13). Esses valores sugerem que a menor riqueza de espécies do campus implica em uma menor sobreposição no espaço funcional.

Por outro lado, o campus apresentou um valor muito abaixo em relação a FRic do município, o que sugere que a comunidade do campus possui uma variedade de traços funcionais muito inferior, quando comparada a da comunidade de serpentes de todo o município. Na figura 13-A isso pode ser observado, boa parte das espécies ausentes em cinza preenchem espaços vazios em relação às espécies registradas.

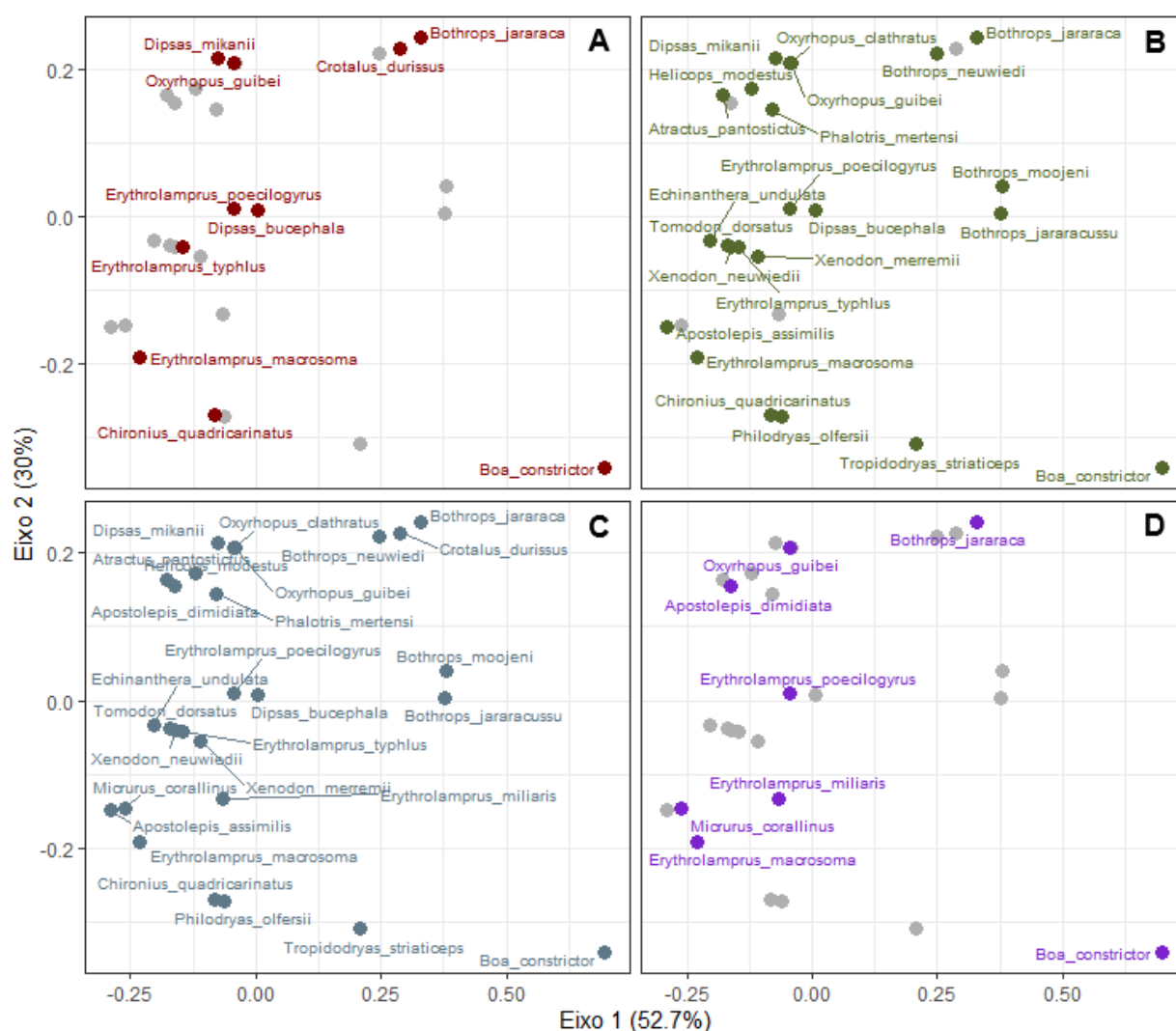


Figura 13. PCoA dos traços funcionais, os eixos que representam diferenças funcionais entre as espécies, agrupando aquelas que possuem traços semelhantes. Em outras palavras, espécies mais distantes ocupam nichos mais diferenciados. (A) espécies registradas no campus “Luiz de Queiroz”, Piracicaba (SP), (B) espécies depositadas no Laboratório de Zoologia de Vertebrados (LCB/ESALQ/USP), (C) todas as espécies registradas no município de Piracicaba (SP) e (D) espécies registradas no SiBBR.

Tabela 6. Resultados do cálculo de diversidade funcional.

| | FDIs | FEve | FRic |
|--------------------------|------|------|-------|
| campus "Luiz de Queiroz" | 0,39 | 0,81 | 0,003 |
| SiBBR | 0,45 | 0,87 | 0,004 |
| LZV | 0,26 | 0,78 | 0,652 |
| Piracicaba | 0,43 | 0,71 | 1,000 |

5.5 MORFOMETRIA

Os dados mensurados estão apresentados por espécie, a seguir:

Boa constrictor

A espécie (excluindo-se filhotes) apresentou comprimento rostro-cloacal (CRC) médio de 1372,12 mm ($\pm 263,42$), comprimento da cauda (CC) médio de 132,81 ($\pm 22,58$) e massa média de 2083,12 g ($\pm 1150,54$).

Separando os dados por sexo, as fêmeas apresentaram CRC médio de 1453,12 mm ($\pm 290,08$), CC médio de 128,12 mm ($\pm 16,68$) e massa corporal média de 2591,25 g ($\pm 1255,67$). Os machos, por sua vez, apresentaram CRC médio de 1291,12 mm ($\pm 222,60$), CC médio de 137,50 mm ($\pm 27,65$) e massa média de 1575,00 g ($\pm 814,98$). Dessa forma, esta foi a espécie de maior porte registrada no estudo. O CRC dividido entre os sexos apresentou distribuição não normal – com o resultado do teste de Shapiro-Wilk dos resíduos sendo p-valor = 0,04. Dessa forma foi realizado o teste de Kruskal-Wallis, com p-valor = 0,11. Já a massa corporal apresentou variâncias equivalentes e distribuição normal dos resíduos (teste de Levene – 0,33, teste de Shapiro-Wilk – 0,52), porém o p-valor do Teste T foi de 0,07. Dessa forma, CRC e massa corporal não diferiram significativamente.

A fêmea recapturada (933007600743041) apresentou variações na massa corporal e no comprimento rostro-cloacal (CRC) - este último possivelmente influenciado por imprecisões da medição manual, uma vez que nem sempre é possível esticar completamente uma serpente constritora de grande porte. As massas registradas foram de 4340 g na primeira captura, 4035 g na segunda e 2330 g na terceira. Os valores de CRC foram de 1660 mm, 1600 mm e 1690 mm, respectivamente. O comprimento da cauda (CC) foi de 140 mm nas duas primeiras ocasiões e 150 mm na última.

Já os filhotes apresentaram CRC médio de 436,5 mm ($\pm 16,32$), CC médio de 50 mm ($\pm 4,95$), massa média de 59,5 g ($\pm 3,80$) e comprimento total (CT) médio de 484,5 mm. Os 13 filhotes foram encontrados no solo, em uma toca, já um 14º filhote foi encontrado a cerca de 50 cm de altura escalando um portão.

O filhote (fêmea, nº 933007600743048) recapturado 44 dias depois apresentou um comprimento total (CT) de 560 mm e massa de 100 g, indicando um crescimento aproximado de 80 mm no comprimento total e 40 g na massa corporal desde sua marcação. Ele estava a 1,5 m de altura em uma árvore. Já o filhote (fêmea, nº 933007600743017) foi recapturado 55 dias depois também apresentou

CT de 560 mm, com CRC de 412 mm, CC de 48 mm e massa de 85 g. Um terceiro filhote (fêmea, nº 933007600743007) foi encontrado morto 129 dias após a marcação, ele apresentou CT de 730 mm, CRC de 660 mm, CC de 70 mm e massa de 184 g.

Chironius quadricarinatus (n = 2)

O indivíduo, identificado como macho, apresentava comprimento rostro-cloacal (CRC) de 600 mm, comprimento da cauda (CC) de 400 mm e massa corporal de 44 g.

Crotalus durissus

O macho capturado possuía CRC de 1025 mm, CC de 105 mm e massa de 875 g. Ele foi encontrado no solo, em área urbana.

Dipsas mikanii

Tratavam-se de dois machos, um apresentou CRC de 570 mm, CC de 100 mm e massa de 30 g, enquanto o outro CRC de 580 mm, CC de 101 mm e massa de 29 g..

Erythrolamprus macrosomus

Tratava-se de um macho, com CRC de 495 mm, CC de 105 mm e massa de 55 g.

Erythrolamprus poecilogyrus

Foram capturados duas fêmeas adultas, com com CRC médio de 587,5 mm, CC médio de 157,5 e massa média de 114,5 g. Também foi capturado um indivíduo juvenil, com CRC de 168 mm, CC de 42 mm e massa de 3,5 g. uma fêmea, com CRC 755 mm, CC de 195 mm e massa de 186 g.

Erythrolamprus typhlus

O espécime apresentou CRC de 210 mm, CC de 43 mm e massa de 10 g.

Oxyrhopus guibei

Foram capturados dois adultos, um macho, com CRC de 643 mm, CC de 178 mm e massa de 65 g e uma fêmea, com CRC de 860 mm, CC de 96 mm e massa de 156 g. Além deles, foram capturados 2 indivíduos juvenis, com média de CRC de 199,5 mm e CC de 53 mm. Um terceiro indivíduo juvenil atropelado estava deformado, porém apresentava comprimento total de 245 mm, não sendo possível distinguir a cauda.

5.6 COMPORTAMENTOS DEFENSIVOS

Os dados comportamentos defensivos registrados por espécie, a seguir:

Boa constrictor

Os comportamentos defensivos observados para serpentes adultas foram fuga (n = 5), bote (n = 5) e sibilar (n = 3). Já para os filhotes os comportamentos observados foram fugir (n = 13), bote (n = 10) e sibilar (n = 1).

Crotalus durissus

Os comportamentos de defesa apresentados foram vibrar o guizo (n = 1), enrodilhar (n = 1) e fugir (n = 1).

Dipsas mikanii

O único comportamento defensivo observado foi a fuga.

Erythrolamprus macrosomus

Os comportamentos defensivos observados foram descarga cloacal (n = 1) e fuga (n = 1).

Erythrolamprus poecilogyrus

O comportamento defensivo observado foi a descarga cloacal (n = 1).

Oxyrhopus guibei

Os comportamentos defensivos observados foram movimentos erráticos (n=2) e fuga (n=1).

5.7 ECOLOGIA TRÓFICA

5.7.1 ITENS ALIMENTARES

Para *B. constrictor* foram obtidas 4 amostras de material fecal, sendo 2 obtidas a partir de apalpação ventral e 2 provenientes do conteúdo intestinal de animais encontrados mortos. Além disso, durante o manejo de duas serpentes regurgitaram um item alimentar. Para a espécie foram encontrados vestígios de roedores (ossos e pelo, n = 3, 1 *Oligoryzomys nigripes*, 1 *Nectomys* sp. e 1 *Rattus* sp.), aves (penas, n = 3) e Squamata (partes da cauda, n = 1, da espécie *Salvator merianae*). O número de itens alimentares (7) é diferente do número de amostras coletadas é diferente porque um espécime encontrado morto possuía vestígios de penas e cauda de *S. merianae* no intestino. Comparando os recursos entre os sexos, encontramos uso de aves (n = 2) e réptil (n = 1) pelas fêmeas, e uso de roedores (n = 3) e aves (n = 1) pelos machos. A Figura 12 mostra alguns dos itens alimentares coletados. Uma amostra coletada para *E. poecilogyrus* continha

vestígios de lagarto e artrópodes. Os artrópodes provavelmente foram consumidos pelo lagarto e seu exoesqueleto resistiu no trato digestivo da serpente.

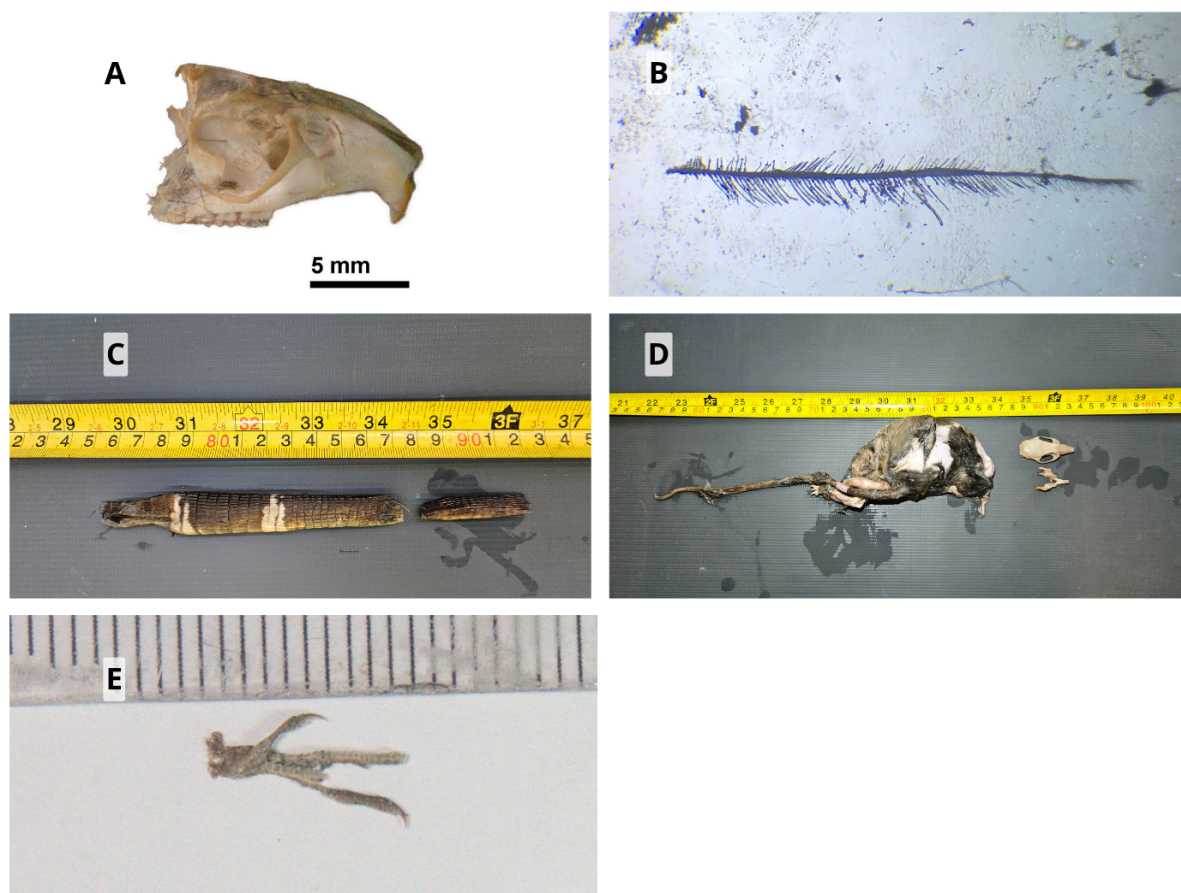


Figura 14. (A) Crânio de *Oligoryzomys nigripes* encontrado no conteúdo intestinal de uma *B. constrictor*; (B) barba e bárbulas de uma pena, encontrada nas fezes de uma *B. constrictor*; (C) fragmento da cauda de *S. merianae* encontrado no intestino de *B. constrictor*; (D) *Nectomys* sp. regurgitado durante manejo por *B. constrictor* e (E) vestígio de um lagarto retirado das fezes de *E. poecilogyrus*.

5.7.2 ISÓTOPOS ESTÁVEIS

Foram analisadas 33 amostras de escamas de 27 indivíduos (uma fêmea de *B. constrictor* teve duas amostras analisadas e o macho de *C. durissus* teve a escama ventral e 4 segmentos do guizo analisados). O $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ variou de -24,37 a -14,37‰, com média de $20,12 \pm 2,57\text{‰}$, indicando um uso de fonte alimentares de origem em plantas C3 em média de 38,09%. O valor com maior proporção de fontes alimentares C3 foi de -24,37‰ ou 63,27%, do espécime de *D. mikanii*, e o menor de -14,37‰ ou 4,03% de um espécime de *B. constrictor*. Os valores observados para o indivíduo de *C. durissus* foram em média de $-21,04 \pm 3,40\text{‰}$, com uma amplitude de 7,1‰. A espécie mais abundante, *B. constrictor*, teve uma média de $\delta^{13}\text{C} = -19,77\text{‰}$.

$\pm 2,28$ ($n = 18$), ou 36,02% de fonte C3. Na Figura 15 está representado um gráfico de dispersão com os resultados da análise das escamas. Além disso, 9 amostras da vegetação do campus e 6 amostras de fontes alimentares, encontradas em conteúdo estomacal e fecal de *B. constrictor* foram analisadas (3 amostras de penas, pelo de duas espécies de roedor e escamas de *S. merianae*). Uma amostra de muda de *S. merianae* encontrada no ambiente também foi analisada.

A vegetação de plantas C3 em ambiente natural e urbano do campus não diferiu isotopicamente, com valores médios de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ de $-30,97\text{‰}$ e $4,39\text{‰}$, respectivamente. Por outro lado, os valores de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ para a plantação de soja foram de $-28,20\text{‰}$ e $2,50\text{‰}$, respectivamente. Por isso, foram consideradas como possíveis fontes distintas. A vegetação C4 em ambiente natural e urbano (gramados de cobertura) também não diferiram, apresentando valores médios de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ de $-14,09\text{‰}$ e $3,62\text{‰}$, respectivamente. Porém, a amostra da plantação de milho teve valores de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ de $-12,29\text{‰}$ e $9,74\text{‰}$, respectivamente. Dessa forma, seriam consideradas duas possíveis fontes de plantas C4, entretanto, o alto valores de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ do milho é igual ou superior aos das fontes alimentares obtidas, indicando que ele não está compondo essa cadeia trófica ou a compõe em baixíssima proporção. O modelo de mistura indicou que a soja contribui com menos de 1% da assinatura isotópica das fontes alimentares.

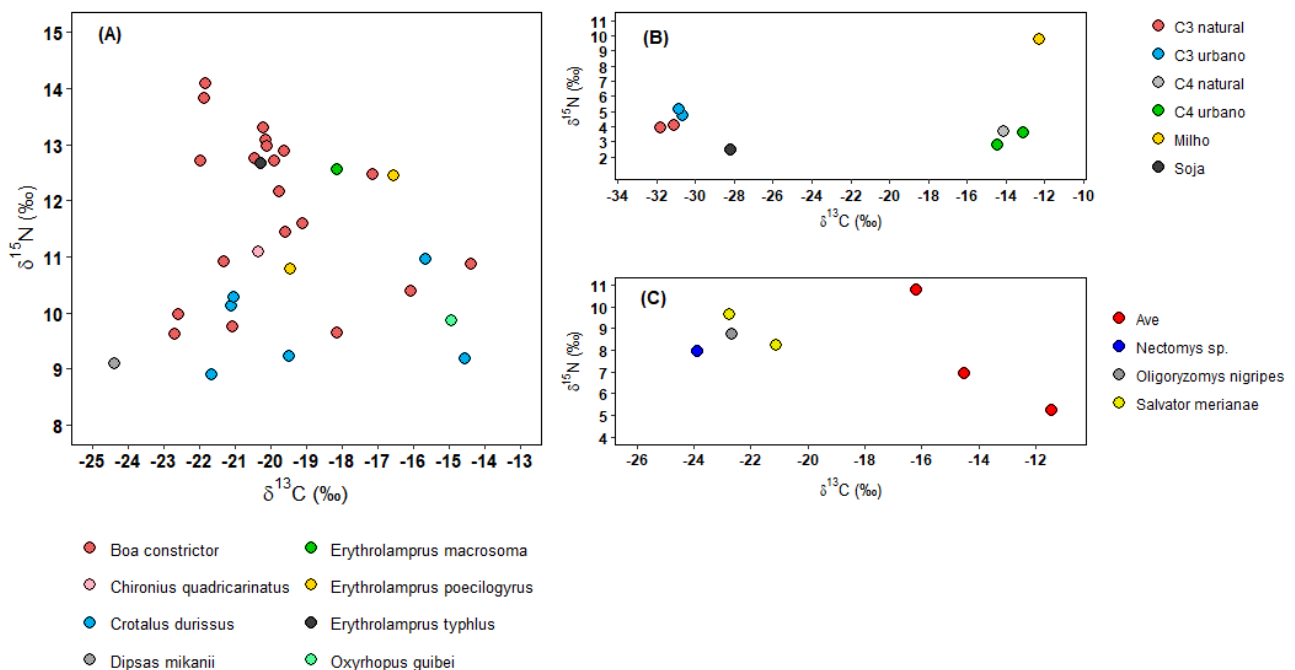


Figura 15. (A) Valores isotópicos das serpentes, (B) valores isotópicos da vegetação, e (C) valores isotópicos das fontes alimentares identificadas para *B. constrictor* no campus “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.

Os valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ indicam dois níveis tróficos ocupados pelas serpentes. Um deles pelas espécies *C. durissus* ($\bar{x} = 9,67\text{‰}$), *O. guibei* ($\bar{x} = 9,87\text{‰}$) e *D. mikanii* ($\bar{x} = 9,09\text{‰}$), com valores entre 9 e 10‰, dentre elas, a terceira possui a dieta especializada em lesmas, se diferenciando das duas primeiras. As duas primeiras, segundo a literatura científica, possuem uma dieta semelhante, com preferência por roedores (ambas) e lagartos (*O. guibei*) (Marques, Eterovic e Sazima, 2019). Isso é corroborado pela proximidade dos valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$. Em relação ao $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$, *C. durissus* ($\bar{x} = -20,27\text{‰}$) e *O. guibei* ($\bar{x} = -14,91\text{‰}$) se diferenciam por uma diferença de 5,36‰, indicando o maior uso de fontes alimentares provenientes de áreas abertas pela segunda espécie.

O segundo nível trófico ocupado pelas serpentes possui valores de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ superiores a 11‰, ocupado pelas espécies *B. constrictor*, *C. quadricarinatus*, *E. macrosoma*, *E. poecilogyrus* e *E. typhlus*. A primeira espécie destaca-se pela dieta generalista – com roedores, aves e répteis obtidos como itens alimentares. Já as demais, segundo a literatura (Marques, Eterovic e Sazima, 2019) possuem dieta composta principalmente por anuros, o que explica a semelhança entre os resultados isotópicos. Valores $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ entre 8,19‰ e 11,76‰ foram observados em Rabelato et al. (2020), ao analisar escamas de *Dryophylax hypoconia*, uma espécie especialista em anfíbios anuros.

Em relação aos valores isotópicos de *B. constrictor*, os resultados de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ não diferiram segundo o Teste T, ambos apresentaram valor de $p > 0,05$ (0,82 e 0,65). Ou seja, as médias de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ e $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ entre machos e fêmeas não diferem estatisticamente. A Figura 14 mostra os boxplots feitos para visualização dos dados.

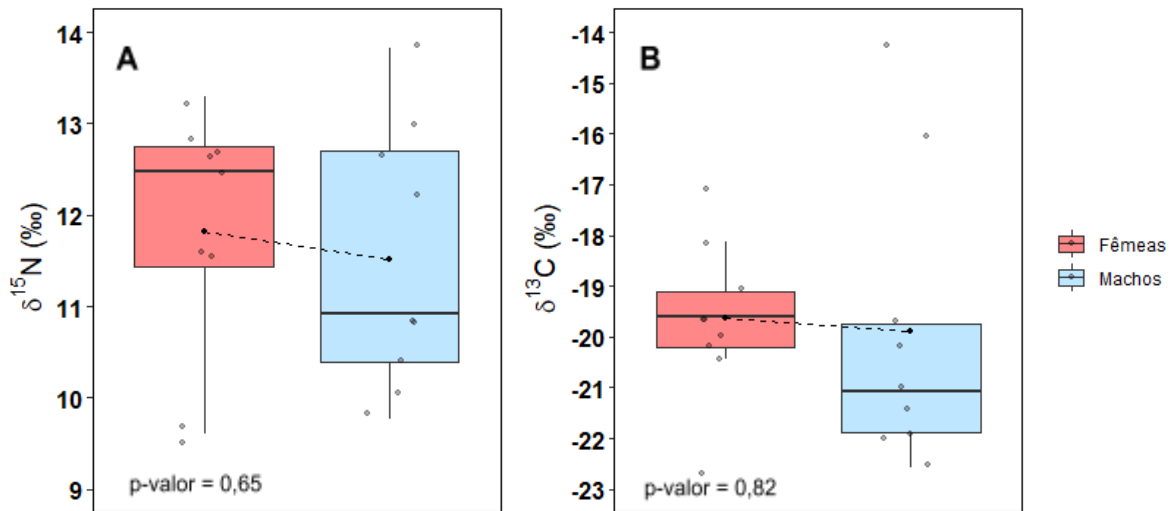


Figura 16. Em (A) os boxplots referentes a assinatura de $\delta^{15}\text{N}$ ‰, e em (B) os boxplots de $\delta^{13}\text{C}$ ‰ de *B. constrictor*. O ponto ligado pela linha tracejada indica a média de cada um dos grupos.

As regressões lineares relacionando os dados isotópicos com as medidas de massa e CRC estão representadas na Figura 15. Apenas as regressões entre $\delta^{15}\text{N}$, massa e CRC de todos os indivíduos apresentaram valor de $p < 0,05$. Entretanto, o R^2 foi de 0,27 e 0,50, respectivamente, indicando que o efeito é baixo.

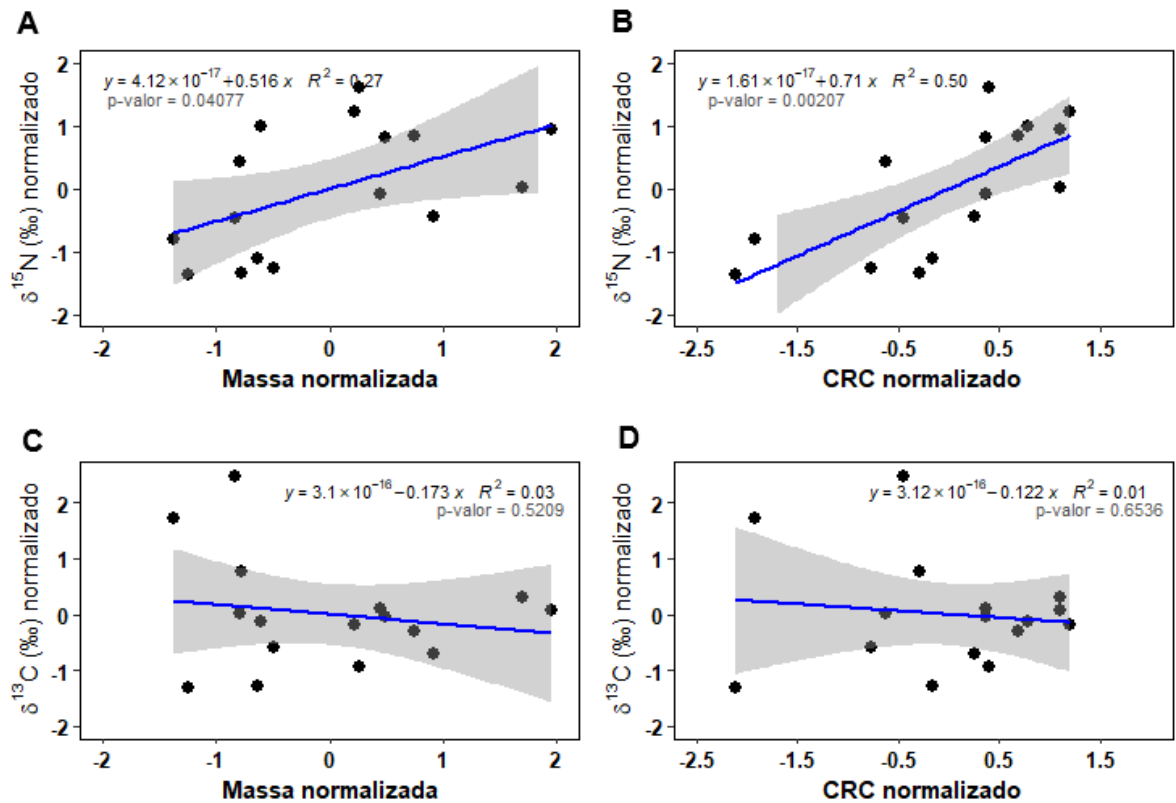


Figura 17. Regressões lineares relacionando os resultados isotópicos e medidas morfométricas de *B. constrictor*. Apenas em (A) e (B) houve significância, com o tamanho do efeito (R^2) moderado.

Apesar dos testes anteriores não indicarem diferenças significativas entre as médias isotópicas de machos e fêmeas de *B. constrictor*, foram realizadas análises complementares com o objetivo de aprofundar a interpretação ecológica dos resultados. Inicialmente, os dados calculados de área total do polígono convexo (TA), a área da elipse padrão (SEA) e a SEA corrigida para tamanho amostral (SEAc) estão apresentados na Tabela 5. A SEAc corresponde a uma elipse ligeiramente ampliada, ajustada para corrigir vieses associados a amostras pequenas (Jackson et al., 2011).

Tabela 7. Valores obtidos para área total do convexo (TA), área da elipse padrão (SEA) e área da elipse corrigida (SEAc).

| | ♀ (‰ ²) | ♂ (‰ ²) |
|------|---------------------|---------------------|
| TA | 13,13 | 17,71 |
| SEA | 6,59 | 12,51 |
| SEAc | 7,53 | 14,30 |

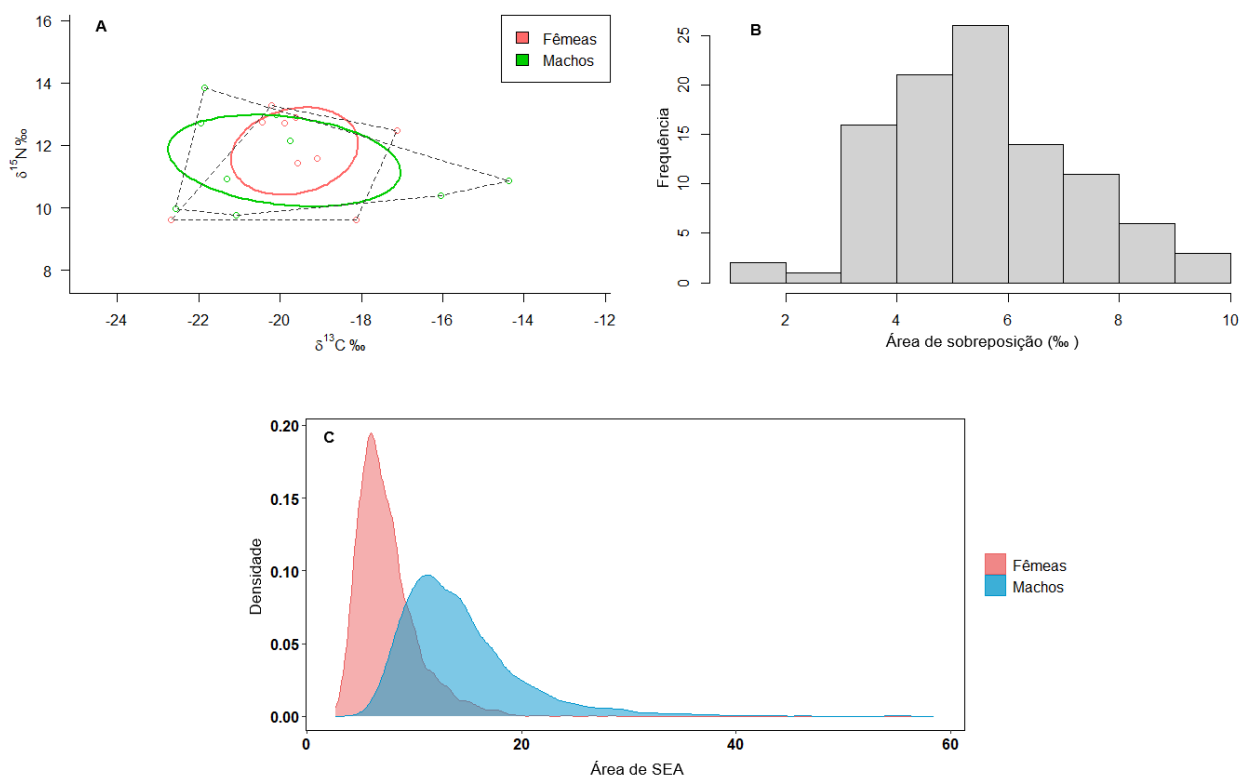


Figura 18. Em (A) elipses plotadas englobando 40% dos dados. Em (B) a frequência de área de sobreposição. Em (C) a densidade de valores calculados para SEA de machos e fêmeas.

A área de sobreposição entre os nichos isotópicos de machos e fêmeas foi de 7,02‰², correspondendo a 91,23% da elipse das fêmeas e a 48,07% da dos machos. Além disso, a probabilidade da elipse das fêmeas ser menor que a dos machos é de 90,37%, diferença influenciada pela maior amplitude nos valores de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ dos machos. Isso poderia sugerir uma maior plasticidade no consumo de presas. Entretanto, o modelo de mistura bayesiana construído com os resultados isotópicos das escamas das serpentes e dos itens alimentares obtidos para a espécie mostraram que a proporção entre as fontes alimentares não diferiu entre os sexos. Fêmeas apresentaram proporção média de 26,4% ($\pm 0,1$) de aves e 73,6% ($\pm 0,1$) de roedores/*S. merianae*, enquanto machos apresentaram 26,7% ($\pm 0,1$) de aves e 73,3% ($\pm 0,1$) de roedores/*S. merianae*. Dessa forma, conclui-se que a diferença de área de nicho isotópico provavelmente é ocasionada por um efeito aleatório da amostra.

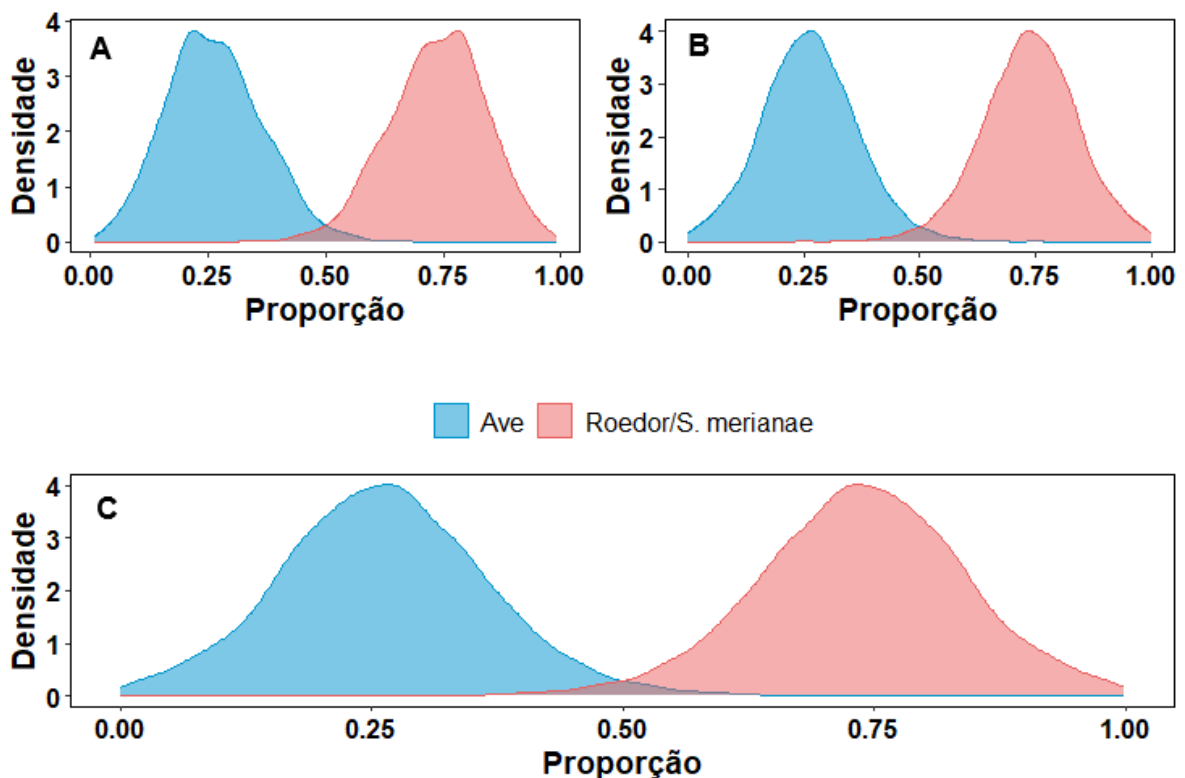


Figura 19. Densidade de distribuição das probabilidades de proporção das fontes alimentares avaliadas para *B. constricto*. Em (A) distribuição para as fêmeas, em (B) para machos e em (C) para todos os indivíduos. A espécie apresentou em média 26,3% da dieta composta por aves e 73,7% por roedores/*S. merianae*.

Outra espécie analisada, a cascavel (*Crotalus durissus*), possui um guizo, o que a torna particularmente interessante do ponto de vista isotópico. A queratina de cada segmento preserva uma assinatura isotópica de um momento anterior da vida do animal. Dessa forma, em alguns casos, é possível traçar um histórico de mudanças na incorporação de carbono, fornecendo uma visão temporal sobre a dieta e uso de habitat (Figura 18).

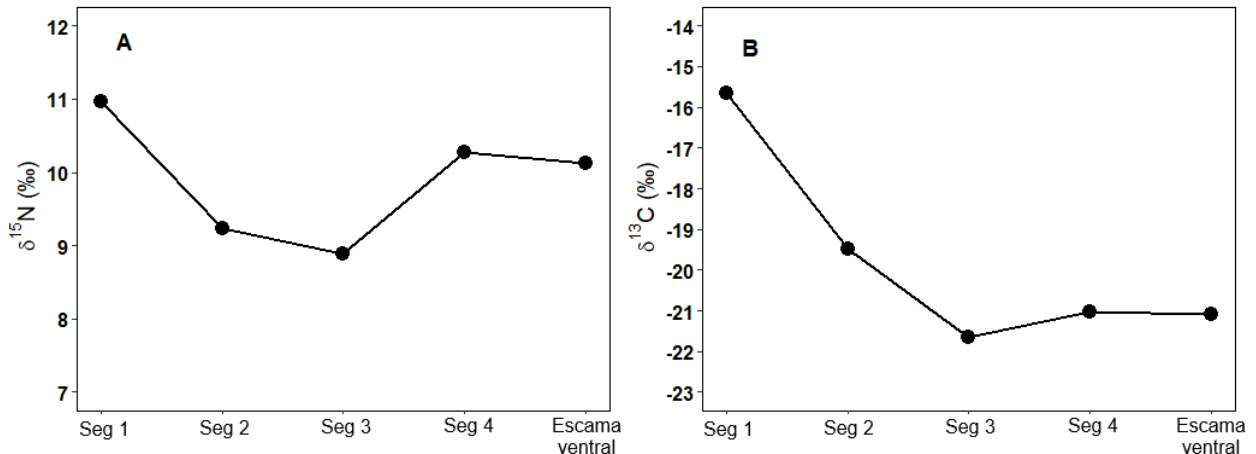


Figura 20. (A) e (B) apresentam os resultados isotópicos dos segmentos do guizo organizados do segmento mais antigo (à esquerda) até o mais recente e a escama ventral (à direita).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}\text{‰}$ mantiveram-se entre 8,89 e 10,96, não necessariamente indicando uma mudança no nível trófico. Já os valores de $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ variaram de -21,65‰ a -15,66‰ indicando uma alteração na origem do carbono incorporado (47,16% e 11,67% de fonte C3, respectivamente). Essa variação pode ter origem na sazonalidade do ambiente ou em uma mudança na área de vida deste indivíduo, que ocasionou uma alteração nas fontes alimentares utilizadas. Carnes-Mason e Beaupre (2023) observaram que o processo de muda ocorre de 1 a 2 vezes por ano em *Crotalus horridus* machos adultos em vida livre, sendo assim, estimamos que as informações fornecidas pelos guizos do espécime amostrado compreendem entre 1,5 e 3 anos de vida do animal.

5.8 CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO

- 1.' Fosseta loreal presente; escamas carenadas.....2 (Viperidae)
- 1." Fosseta loreal ausente; escamas com ou sem carena.....6

- 2.' Extremidade da cauda modificada em um guizo; coloração dorsal com desenhos losangulares.....*Crotalus durissus*
- 2." Extremidade da cauda não modificada; coloração dorsal com desenhos em formato triangular ou trapezoidal.....3
- 3.' Lacunolabial presente (fusão entre borda anterior da fosseta loreal e supralabial).....4
- 3." Lacunolabial ausente; supralabiais manchadas; faixa pós-ocular com contorno branco.....*Bothrops neuwiedi*
- 4.' 7 supralabiais; faixa pós-ocular ausente ou pouco conspícua; internasais alongadas separadas por internasal menor.....*Bothrops moojeni*
- 4." Geralmente 8-9 supralabiais; faixa pós-ocular bem visível.....5
- 5.' 162-186 escamas ventrais; 5 ou mais escamas em contato com as internasais; manchas laterais possuindo círculos na parte basal dos triângulos.....*Bothrops jararacussu*
- 5." 184-220 escamas ventrais; 4 ou menos escamas em contato com as internasais; manchas laterais em formato triangular ou trapezoidal; cor de fundo variando de creme a verde-oliva.....*Bothrops jararaca*
- 6.' Escamas cefálicas pequenas e irregulares; escamas dorsais com 35 ou mais fileiras.....*Boa constrictor*
- 6." Escamas cefálicas dispostas em placas regulares.....7
- 7.' Coloração coral com padrão monadal pelo corpo todo (anéis vermelhos desbotados para branco em espécimes preservados; ocasionalmente poucos anéis podem apresentar falhas); escama loreal ausente; cauda curta e romba.....*Micrurus corallinus*
- 7." Coloração diferente de coral ou caso possua; padrão diferente de monadal.....8
- 8.' Internasal única.....*Helicops modestus*
- 8." Internasal dividida ou fundida as pré-frontais.....9

| | |
|--|----------------------------------|
| 9.' Escama loreal ausente; coloração dorsal vermelha..... | 10 |
| 9." Coloração diferente da descrita acima..... | 12 |
| 10.' Internasais fundidas as pré-frontais formando barras longitudinais; ponta da cauda negra..... | 11 |
| 10." Pré-frontais fundidas em placa transversal; ponta da cauda vermelha; rostro vermelho..... | <i>Phalotris mertensi</i> |
| 11.' Rostro branco; colar nugal branco evidente com largura de 2 a 3 escamas seguido de anel negro..... | <i>Apostolepis assimilis</i> |
| 11." Rostro negro predominantemente negro em vista superior; faixa escura longitudinal acompanhando a lateral do corpo..... | <i>Apostolepis dimidiata</i> |
| 12.' Escamas dorsais em número par; dorso da cabeça castanho com corpo acinzentado..... | <i>Chironius quadricarinatus</i> |
| 12." Escamas dorsais em número ímpar..... | 13 |
| 13.' 15 ou menos fileiras de escamas dorsais no primeiro terço do corpo..... | 14 |
| 13." Mais de 15 fileiras de escamas dorsais no primeiro terço do corpo..... | 15 |
| 14.' 15 fileiras de escamas dorsais; escamas vertebrais não alargadas; corpo com bandas dorsais escuras definidas de formato triangular invertido com margens irregulares..... | <i>Dipsas mikanii</i> |
| 14." 13 fileiras de escamas dorsais geralmente sem redução; escamas vertebrais alargadas; corpo com bandas laterais escuras em forma triangular ou de trapézio..... | <i>Dipsas bucephala</i> |
| 15.' 17 fileiras de escamas dorsais no meio do corpo..... | 16 |
| 15." 19 ou mais fileiras dorsais medianas..... | 20 |
| 16.' 17/17/17 fileiras de escamas dorsais..... | 17 |
| 16." Fileiras dorsais com redução de 17 para 15 fileiras..... | 18 |

- 17.' Pré-ocular ausente; corpo com cor de fundo em vida marrom-avermelhado com pontos escuros.....*Atractus pantostictus*
- 17." Pré-ocular presente; duas manchas circulares na região nugal; lateral do corpo com porção mais clara ondulada.....*Echinanthera undulata*
- 18.' Mucosa oral negra; 7 supralabiais (3ª e 4ª em contato com o olho); corpo com coloração em vida que varia do marrom ao alaranjado; dorso da cabeça com coloração mais escura que se estende a região nugal dividindo-se ao meio; possui faixa pós-ocular.....*Tomodon dorsatus*
- 18." 8 supralabiais (4ª e 5ª em contato com o olho); coloração diferente da descrita acima.....19
- 19.' Escamas dorsais com centro claro (amarelo ou marrom) com bordas escuras (marrons a pretas); escamas ventrais imaculadas; juvenis com coloração diferente do adulto, possuindo uma faixa clara na região nugal em formato de "V".....*Erythrolamprus miliaris*
- 19." Dorso da cabeça e terço posterior do corpo verde-oliva, tornando-se marrom-acinzentado no meio do corpo; ventre avermelhado com manchas retangulares a trapezoidais; juvenis com coloração diferente do adulto, possuindo uma faixa transversal clara na região nugal.....*Erythrolamprus macrosoma*
- 20.' 21 fileiras dorsais medianas.....21
- 20." 19 fileiras dorsais medianas.....22
- 21.' Fileiras dorsais paravertebrais mais sobrepostas gerando fileiras transversais não lineares.....*Xenodon neuwiedii*
- 21." Fileiras dorsais paravertebrais dispostas de forma regular; com fileiras transversais lineares; coloração no dorso com manchas retangulares.....*Tropidodryas striaticeps*
- 22.' 4ª e 5ª supralabiais em contato com olho; fileiras dorsais paravertebrais não sobrepostas gerando fileiras transversais lineares.....23

- 22.” 3ª e 4ª supralabiais em contato com olho; fileiras dorsais paravertebrais mais sobrepostas gerando fileiras transversais não lineares; coloração variável; por vezes semelhante ao padrão de jararacas.....*Xenodon merremii*
- 23.’ Coloração coral (tríades ou anéis pretos e vermelhos/brancos alternados).....24
- 23.” Coloração diferente de coral.....25
- 24.’ Primeira sequência de anéis do corpo iniciando com uma díade seguida de tríades no restante do corpo; que frequentemente se desalinham no terço final do corpo; frontal toca a pré-ocular.....*Oxyrhopus guibei*
- 24.” Anéis pretos e brancos/vermelhos alternados; ocasionalmente com padrão melânico; frontal não toca a pré-ocular.....*Oxyrhopus clathratus*
- 25.’ Dorso da cabeça de coloração marrom com uma faixa negra passando pelos olhos e corpo de cor verde uniforme; região ventral e gular verde limão; mais de 170 escamas ventrais.....*Philodryas olfersii*
- 25.” Coloração diferente da descrita acima; se com coloração verde e cabeça marrom, sem faixa negra passando pelos olhos com pequenos pontos pelo corpo; região ventral branca; infralabiais podem ser amareladas; menos de 169 escamas ventrais.....26
- 26.’ Juvenis com a cabeça marrom com uma mancha transversal na região nugal; o corpo verde com manchas pequenas escuras espalhadas. Adultos inteiramente verdes (espécimes fixados podem ser azulados); região ventral branca; supra e infralabiais podem ser amareladas.....*Erythrolamprus typhlus*
- 26.” Juvenis com a cabeça marrom; com uma mancha transversal na região nugal; corpo acinzentado com manchas escuras espalhadas. Adulto com coloração variável, porém diferente da descrita acima.*Erythrolamprus poecilogyrus*

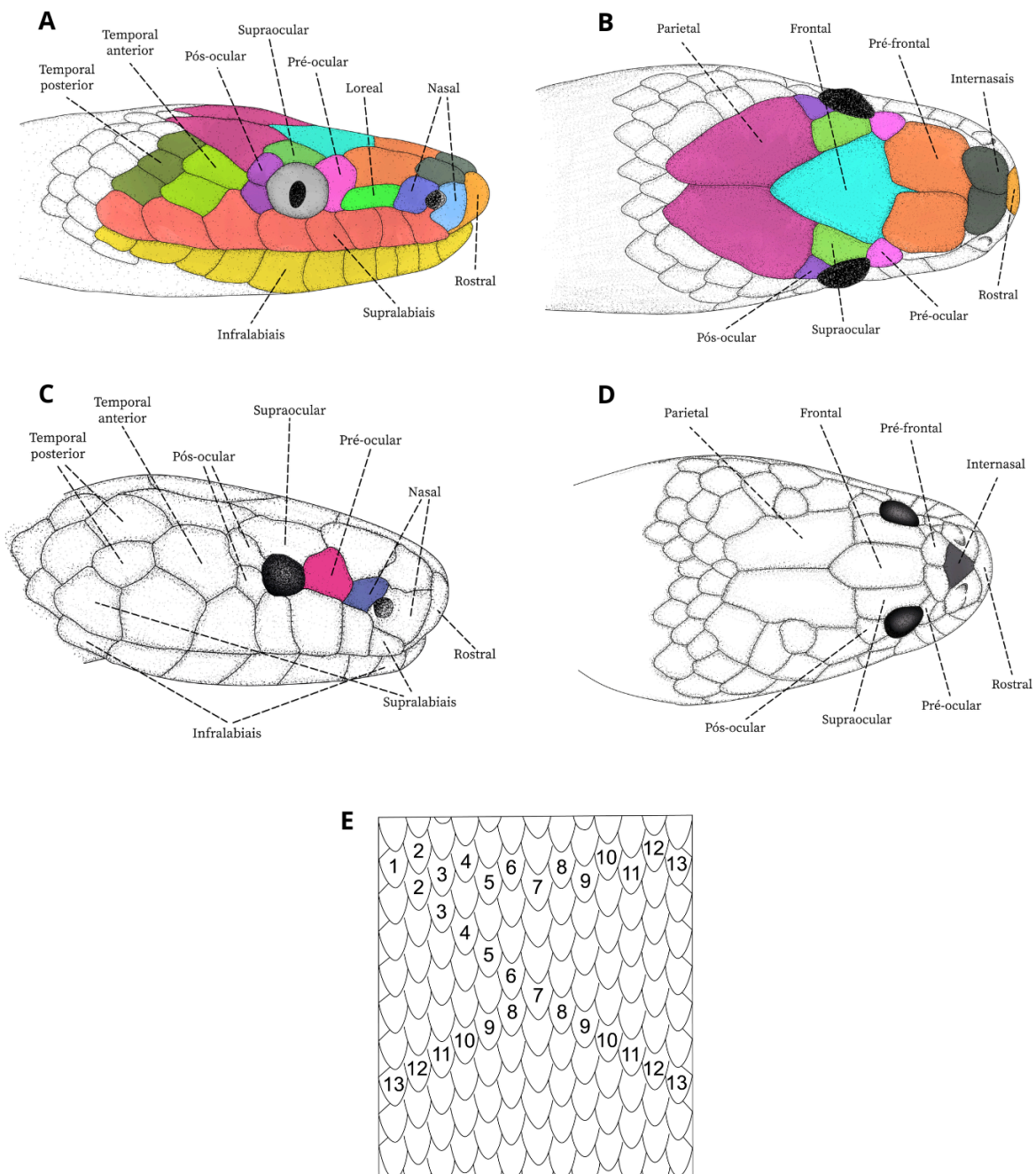


Figura 21. (A) vista lateral da folidose da cabeça de uma *O. guibei*, (B) vista dorsal da folidose da cabeça de uma *O. guibei*, (C) vista lateral da folidose da cabeça de uma *Micrurus* sp., (D) vista dorsal da folidose da cabeça de uma *H. modestus*, e (E) formas de contagem do número de fileiras de escamas dorsais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo foi possível obter um panorama da riqueza de espécies que ocorrem no município de Piracicaba, São Paulo. Constatou-se que o número de espécies observado é inferior ao número de espécies esperado, o que provavelmente se relaciona com a limitação de levantamentos de dados deste

estudo, que teve como principal fonte de dados serpentes que por uma fatalidade foram mortas do município e levadas ao Laboratório de Zoologia de Vertebrados, ou registros de terceiros. Sendo assim, elas consistem, predominantemente, de espécies mais facilmente observadas, com baixa cobertura de espécies criptozóicas (ou fossórias), arborícolas mais especializadas e aquáticas. Mesmo assim, puderam ser obtidos registros de 27 espécies, uma informação não existente para o município anteriormente.

O campus “Luiz de Queiroz” possui uma fração dessa riqueza de espécies, contudo, dois dos seus três índices de diversidade funcional tiveram valores semelhantes com os do município. Isso indica a boa qualidade dessa comunidade de serpentes. O campus também se mostrou promissor ao estudo de serpentes em ambientes urbanos, uma vez que a baixa frequência de encontros por busca ativa foi compensada pelos encontros de terceiros.

Foi possível identificar cinco táxons (três espécies de roedores, aves e *S. merianae*) para *B. constrictor* e um lagarto para *E. poecilogyrus*, dentre os itens alimentares, resultando em quase 40% de fontes alimentares de origem C3 ou florestal. Isso reforça a importância da vegetação nativa na paisagem para a ocorrência destas espécies.

Além dos resultados esperados, foi possível registrar parte da história de vida de um indivíduo de *B. constrictor*. Nesse processo, observou-se a variação de massa do animal, provavelmente ligado à grande demanda energética da gestação dos filhotes. Uma aproximação da sua área de vida também pôde ser calculada, junto de uma visão da dispersão de 3 dos filhotes no ambiente urbanizado.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, C. S.; SAENZ, D.; KIDD, K. R.; SCHALK, C. M. **Disparate patterns of taxonomic and functional predator diversity under different forest management regimes**. *Ecological Indicators*, v. 136, p. 108591, 2022.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. **bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. *Journal of informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- ASCENSO, A. C.; COSTA, J. C. L.; PRUDENTE, A. L. C. **Taxonomic revision of the *Erythrolamprus reginae* species group, with description of a new species from Guiana Shield (Serpentes: Xenodontinae)**. *Zootaxa*, v. 4586, n. 1, p. 065-097, 2019.
- BARBO, F. E.. **Composição, história natural, diversidade e distribuição das serpentes no município de São Paulo, SP**. Unpublished MS Dissertation, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil, 2008.
- BARBO, F. E.; MARQUES, O. A. V. ; SAWAYA, R. J. **Diversity, natural history, and distribution of snakes in the municipality of São Paulo**. *South American Journal of Herpetology*, v. 6, n. 3, p. 135-160, 2011.
- BATEMAN, P. W.; FLEMING, P. A. **Big city life: carnivores in urban environments**. *Journal of zoology*, v. 287, n. 1, p. 1-23, 2012.
- BOGONI, J. **The analytic progress on biodiversity measures: a brief remark**. *Brazilian Journal of Mammalogy*, n. e92, p. e92202395-e92202395, 2023.
- BÖHM, M.; COLLEN B.; BAILLIE, J. E. M.; BOWLES, P.; CHANSON, J.; COX, N.; HAMMERSON, G.; HOFFMANN, M.; LIVINGSTONE, S. R.; RAM, M.; RHODIN, A. G. J.; STUART, S. N.; VAN DIJK, P. P.; YOUNG, B. E.; AFUANG, L. E.; AGHASYAN, A.; GARCÍA, A.; AGUILAR, C.; AJTIC, R.; ... ZUG, G. **The conservation status of the world's reptiles**. *Biological Conservation*, v. 157, p. 372-385, 2013.
- BORGES, R. C.; ARAÚJO, A. F. B. de. **Seleção de hábitat em duas espécies de jararaca (*Bothrops moojeni* Hoge e *B. neuwiedi* Wagler) (Serpentes, Viperidae)**. *Revista Brasileira de Biologia*, v. 58, p. 591-601, 1998.
- BROWN, J. R.; BISHOP, C. A.; BROOKS, R. J. **Effectiveness of Short-Distance Translocation and Its Effects on Western Rattlesnakes**. *The Journal of Wildlife Management*, v.73, p. 419–425, 2009.

- CAMPOS, C. B. D.; ESTEVES, C. F.; FERRAZ, K. M. P. M. B.; CRAWSHAW JR, P. G.; VERDADE, L. M. **Diet of free-ranging cats and dogs in a suburban and rural environment, south-eastern Brazil.** *Journal of Zoology*, v. 273, n. 1, p. 14-20, 2007.
- CARDILLO, M.; MACE, G. M.; GITTLEMAN, J. L.; JONES, K. E.; BIELBY, J.; PURVIS, A. **The predictability of extinction: biological and external correlates of decline in mammals.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 275, n. 1641, p. 1441-1448, 2008.
- CARNES-MASON, M. D.; BEAUPRE, S. J. **Frequency and timing of ecdysis in free-ranging timber rattlesnakes.** *Herpetologica*, v. 79, n. 4, p. 207-219, 2023.
- CALDWELL M.; NYDAM, R.; PALCI, A; APESTEGUÍA, S. **The oldest known snakes from the Middle Jurassic-Lower Cretaceous provide insights on snake evolution.** *Nat Commun* 6, 5996, 2015.
- CHAO, A.; CHIU, C.; JOST, L. **Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers.** *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, v. 45, p. 297-324, 2014.
- CHOI, W.; PARK, J.; KIM, J.; DO, M. S.; RHIM, S. J.; GRAJAL-PUCHE, A.; PARK, D. **Diets of four snake species in South Korean mountain forests.** *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, v. 15, p. 495-499, 2022.
- CLIBURN, J. W. **Observations of ecdysis in the black pine snake, *Pituophis melanoleucus lodingi* (Reptilia, Serpentes, Colubridae).** *Journal of Herpetology*, p. 299-301, 1976.
- COLOMBO, A. F.; JOLY, C. A. **Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot and is highly threatened by climate changes.** *Braz. J. Biol.*, v. 70, n. 3, p. 697-708, 2010.
- CONDEZ, T. H.; SAWAYA, R. J.; DIXO, M. **Herpetofauna dos remanescentes de Mata Atlântica da região de Tapiraí e Piedade, SP, sudeste do Brasil.** *Biota neotropica*, v. 9, p. 157-185, 2009.
- COOPER, M. **Relatório de revisão do Plano Diretor Socioambiental Participativo do campus USP “Luiz de Queiroz”.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba/São Paulo. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/boletim/sites/default/files/clipping/DocumentoPlanoDiretor_versaopreliminar.pdf>. Acesso em: 05 de junho de 2023. 2018.

- CORTÉS, E. **Standardized diet compositions and trophic levels of sharks**. ICES J Mar Sci, v. 56, p. 707-717, 1999.
- DIXON, J. R. **A key and checklist to the Neotropical snake genus Liophis with country lists and maps**. 1989.
- DUQUE, B. R.; BRUNO, S. F.; FERREIRA, V.; GUEDES, T. B.; MACHADO, C.; HAMDAN, B. **Serpentes peçonhentas de importância médica no estado do Rio de Janeiro: habitat e taxonomia contra ofidismo**. Brazilian Journal of Biology, 83, e272811, 2023.
- EITEN, G. **The cerrado vegetation of Brazil**. The Botanical Review, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.
- EITEN, G. **Vegetação do Cerrado**. In: PINTO, M. N. (ed) Cerrado: Caracterização, Ocupação e Perspectivas. Editora da Universidade de Brasília, Brasília, pp 17-73, 1994.
- FAROOQ, H.; FAROOQ, H.; HARFOOT, M.; RAHBEK, C.; GELDMANN, J. **Threats to reptiles at global and regional scales**. Current Biology, v. 34, n. 10, p. 2231-2237. e2, 2024.
- FIORILLO, B. F., DA SILVA, B. R.; MENEZES, F. A.; MARQUES, O. A.; MARTINS, M. **Composition and natural history of snakes from Etá farm region, Sete Barras, south-eastern Brazil**. ZooKeys, v. 931, p. 115, 2020.
- FIORILLO, B. F.; MACIEL, J. H.; MARTINS, M. **Composition and natural history of a snake community from the southern Cerrado, southeastern Brazil**. ZooKeys, v. 1056, p. 95, 2021.
- FISS A. T.; TITTELMIER, S.A.; PRANSCHKE, J. L.; NORSTROM, R. J. **Using anthropogenic contaminants and stable isotopes to assess the feeding ecology of greenland sharks**. Ecology, v. 83, p. 2162-2172, 2002.
- FRANÇA, D. P. F. **Revisão taxonômica do gênero Apostolepis Cope, 1862 (Serpentes, Dipsadidae, Xenodontinae, Elapomorphini)**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista. 2018.
- FRENCH, S. S.; WEBB, A. C.; HUDSON, S. B.; VIRGIN, E. E. **Town and country reptiles: a review of reptilian responses to urbanization**. Integrative and Comparative Biology v. 58, p. 948-966, 2018.
- FROSSARD, A.; LEITE, F. L.; SILVA, E. L.; CARNEIRO, M. T.; JÚNIOR, J. L.; GOMES, L. C.; ENDRINGER, D. C. **The snake Bothrops jararaca (Squamata: Viperidae) is a suitable bioindicator of environmental**

- exposure to cadmium: An experimental study.** *Ecological Indicators*, v. 104, p. 166-171, 2019.
- Fundação SOS Mata Atlântica; INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020**, relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. 73p.
- GARVEY, J. E.; WHILES, M. **Trophic ecology.** CRC Press, 2016.
- GLAUDAS, X.; GLENNON, K. L.; MARTINS, M.; LUISELLI, L.; FEARN, S.; TREMBATH, D. F.; ... ALEXANDER, G. J. **Foraging mode, relative prey size and diet breadth: a phylogenetically explicit analysis of snake feeding ecology.** *Journal of Animal Ecology*, v. 88, n. 5, p. 757-767, 2019.
- GUEDES, T. B.; ENTIAUSPE-NETO, O. M.; COSTA, H. C. **Lista de répteis do Brasil: atualização de 2022.** 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7829013>. Acesso em 23 de set. 2025.
- GUEDES, T. B., SAWAYA, R. J., ZIZKA, A., LAFFAN, S., FAURBY, S.; PYRON, R. A.; ... ANTONELLI, A. **Patterns, biases and prospects in the distribution and diversity of Neotropical snakes.** *Global Ecology and Biogeography*, v. 27, n. 1, p. 14-21, 2018.
- GONZÁLEZ-MAYA, J. F.; VÍQUEZ-R, L. R.; ARIAS-ALZATE, A.; BELANT, J. L.; CEBALLOS, G. **Spatial patterns of species richness and functional diversity in Costa Rican terrestrial mammals: implications for conservation.** *Diversity and Distributions*, v. 22, n. 1, p. 43-56, 2016.
- GREENE, H. W. **Snakes: the evolution of mystery in nature.** University of California Press, 1997.
- HARTMANN, P.A.; HARTMANN, M.T.; MARTINS, M. **Ecology and natural history of a snake assemblage at Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar, southeastern Brazil.** *Biota Neotropica*, v. 9, 2009.
- HARTMANN, P. A. **História natural e ecologia de duas taxocenoses de serpentes na Mata Atlântica.** 2005.
- HEATWOLE, H.; DAVISON, E. **A review of caudal luring in snakes with notes on its occurrence in the Saharan sand viper, *Cerastes vipera*.** *Herpetologica*, p. 332-336, 1976.
- HSIEH, T. C.; MA, K. H.; CHAO, A. **iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers).** *Methods in Ecology and Evolution*, v. 7, n. 12, p. 1451-1456, 2016.

- IBGE. **Cidades e Estados do Brasil**. Sistema Cidades@. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 26 set. 2023.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília: ICMBio/MMA, 2018.
- JACKSON, A. L.; INGER, R.; PARNELL, A. C.; BEARHOP, S. **Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER–Stable Isotope Bayesian Ellipses in R**. *Journal of Animal Ecology*, v. 80, p. 595-602, 2011.
- JACKSON, T. N.; YOUNG, B.; UNDERWOOD, G.; MCCARTHY, C. J.; KOCHVA, E.; VIDAL, N.; ... FRY, B. G. **Endless forms most beautiful: the evolution of ophidian oral glands, including the venom system, and the use of appropriate terminology for homologous structures**. *Zoomorphology*, v. 136, n. 1, p. 107-130, 2017.
- JENNINGS S.; PINNERGAR, J. K.; POLUNIN, N. V. C.; WARR, K. J. **Linking size-based and trophic analyses of benthic community structure**. *Mar Ecol Prog Ser*, v. 226, p.77-85, 2002.
- KLEIN, C.G.; PISANI, D.; FIELD, D. J. **Evolution and dispersal of snakes across the Cretaceous-Paleogene mass extinction**. *Nat Commun* 12, 5335, 2021.
- KREBS, C. J. **Ecological Methodology**.,(Benjamin/Cummings: Menlo Park, CA.). 1999.
- LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. **A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits**. *Ecology*, v. 91, n. 1, p. 299-305, 2010.
- LARSON, E. I.; POFF, N. L.; FUNK, W. C.; HARRINGTON, R. A.; ONDRATIEFF, B. C.; MORTON, S. G.;FLECKER, A. S. **A unifying framework for analyzing temporal changes in functional and taxonomic diversity along disturbance gradients**. *Ecology*, v. 102, n. 11, p. e03503, 2021.
- LAWTON, J.H. **What do species do in ecosystems?**. *Oikos*, p. 367-374, 1994.
- LAYMAN, C. A.; ARAUJO, M. S.; BOUCK, R.; HAMMERSCHLAG-PEYER, C. M.; HARRISON, E.; JUD, Z. R.; MATICH, P.; ROSENBLATT, A. E.; VAUDO, J. J.; YEAGER, L. A.; POST, D. M.; BEARHOP, S. **Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools**. *Biological Reviews*, v. 87, p. 545-562, 2011.
- LEITE-FILHO, E.; OLIVEIRA, F. A.; ELOI, F. J.; LIBERAL, C. N.; LOPES, A. O.; MESQUITA, D. O. **Evolutionary and ecological factors influencing an**

- anuran community structure in an Atlantic Rainforest urban fragment.** Copeia, v. 105, p. 64-74, 2017.
- LINDEMAN, R. L. **The trophic-dynamic aspect of ecology.** Ecology, v. 23, n. 4, p. 399-417, 1942.
- LUISELLI, L.; ANGELICI, F. M.; AKANI, G. C. **Food habits of Python sebae in suburban and natural habitats.** African Journal of Ecology, v. 39, n. 1, 2001.
- MACARTNEY, J. M.; GREGORY, P. T.; CHARLAND, M. B. **Growth and sexual maturity of the western rattlesnake, Crotalus viridis, in British Columbia.** Copeia, p. 528-542, 1990.
- MAGURRAN, A. E. Measuring biological diversity (1 ed). Oxford, UK: Blackwell Science: p. 256, 2004.
- MAJOR, T.; JEFFREY, L.; LIMIA RUSSEL, G.; BRACEGIRDLE, R.; GANDINI, A.; MORGAN, R.; ... WÜSTER, W. **A reliance on human habitats is key to the success of an introduced predatory reptile.** PloS one, v. 20, n. 2, p. e0310352, 2025.
- MapBiomias. "Coverage statistics by biomes, states and municipalities - MapBiomias Brasil Collection 10". 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/IBQPF6>. Acesso em 23 de set de 2025.
- MapBiomias – Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra na Mata Atlântica - Coleção 7. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/fact-sheet-MATA-ATLANTICA-2022_18.10.2022.pdf. Acessado em 25 de set. de 2025.
- MARCHINI, S.; FERRAZ, K. M. P. M. B. **Bichos da ESALQ.** Piracicaba: Serviço de Produções Gráficas – Esalq/Usp, 2014.
- MARVIER, M.; KAREIVA, P.; NEUBERT, M. G. **Habitat Destruction, Fragmentation, and Disturbance Promote Invasion by Habitat Generalists in a Multispecies Metapopulation.** Risk Analysis, 24, p. 869–878, 2004.
- MARQUES, O. A. V.; ETEROVIC, A.; SAZIMA, I. **Serpentes da Mata Atlântica: guia ilustrado para as regiões costeiras do Brasil.** Ponto A, 2019.
- MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B. de; M. Z. Moreira. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis.** São Paulo: Oficina dos Textos, 2009.

- MARTINEZ, M. G. **Influência da paisagem na dieta de Bothrops atrox na Amazônia oriental**. 178 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- MARTINEZ, M. G. **Feeding history of Crotalus durissus terrificus snakes by the analysis of carbon-13 (delta C-13) isotope from the rattle**. Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases. Botucatu: Cevap-unesp, v. 16, n. 1, p. 186-187, 2010.
- MARTINEZ, P. M. S. **Revisão taxonômica da tribo Dipsadini (Serpentes: Dipsadidae, Dipsadinae)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2016.
- MARTINS, M.; OLIVEIRA, M. E. **Natural history of snakes in forests of the Manaus Region, Central Amazonian, Brazil**. Herpetological Natural History, Stanford, v. 6, p. 78-150, 1998.
- MARTINS, M.; MOLINA, F. B. **Panorama geral dos répteis ameaçados do Brasil**. In: Machado, A. B. M.; Drummond, G. M. & Paglia, A. P. (Ed.). Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção (2008). Brasília: Ministério do Meio Ambiente. v. 2, p. 327-73. (Biodiversidade, n. 19).
- MASON, N. W. H.; MOUILLOT, D.; LEE, W. G.; WILSON, J. B. **Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity**. Oikos, v. 111, p. 112-118, 2005.
- MATTHEWS, K.; KNAPP, R.; POPE, K. **Garter Snake Distributions in High-Elevation Aquatic Ecosystems: Is There a Link with Declining Amphibian Populations and Nonnative Trout Introductions?**. Journal of Herpetology - J HERPETOL. v. 36. p. 16-22, 2002.
- MEYNARD, C. N.; DEVICTOR, V.; MOUILLOT, D.; THUILLER, W.; JIGUET, F.; MOUQUET, N. **Beyond taxonomic diversity patterns: how do α , β and γ components of bird functional and phylogenetic diversity respond to environmental gradients across France?**. Global Ecology and Biogeography, v. 20, n. 6, p. 893-903, 2011.
- MOORE, J. W.; SEMMENS, B. X. **Incorporating uncertainty and prior information into stable isotope mixing models**. Ecology letters, v. 11, n. 5, p. 470-480, 2008.

- MOUILLOT, D.; GRAHAM, N. A. J.; VILLEGGER, S.; MASON, N. W. H.; BELLWOOD, D. R. **A functional approach reveals community responses to disturbances**. Trends in Ecology and Evolution, v. 28, p. 167-177, 2013.
- NAVEGA-GONÇALVES, M. E. C.; PORTO, T. **Conservação de Serpentes nos Biomas Brasileiros**. Bioikos, Campinas, v. 30, n. 1, p. 55-76, 2016.
- NIELSEN, J. M.; CLARE, E. L.; HAYDEN, B.; BRETT, M. T.; KRATINA, P. Diet tracing in ecology: Method comparison and selection. Methods in Ecology and Evolution, v. 9, n. 2, p. 278-291, 2018.
- NOGUEIRA, C.; VALDUJO, P. H.; FRANÇA, F. G. R. **Habitat variation and lizard diversity in a Cerrado area of Central Brazil**. Studies on Neotropical Fauna and Environment, v. 40, n. 2, p. 105-112, 2005.
- NOGUEIRA, C. C.; ARGÔLO, A. J.; ARZAMEDIA, V.; AZEVEDO, J. A.; BARBO, F. E.; BÉRNILS, R. S.; ... MARTINS, M. **Atlas of Brazilian snakes: verified point-locality maps to mitigate the Wallacean shortfall in a megadiverse snake fauna**. South American Journal of Herpetology, v. 14, n. sp1, p. 1-274, 2019.
- PASSOS, P.; FERNANDES, R.; BERNILS, R. S.; MOURA-LEITE, J. D. **Taxonomic revision of the Brazilian Atlantic Forest Atractus (Reptilia: Serpentes: Dipsadidae)**. Zootaxa, v. 2364, n. 1, p. 1-63, 2010.
- PIASSENTIER, E.; VALUSSO, R.; CARMIN, F.; VERSINI, G. **Stable isotope ratio analysis for authentication of lamb meat**. Meat Science, Barking, v. 64, p. 239–247, 2003.
- PRIETO, Y. A.; GIRAUDO, A. R.; LÓPEZ, M. S. **Diet and sexual dimorphism of Liophis poecilogyrus (Serpentes, Dipsadidae) from the wetland regions of Northeast Argentina**. Journal of Herpetology, v. 46, n. 3, p. 402-406, 2012.
- PUENTE-ROLÓN, A. R.; BIRD-PICÓ, F. J. **Foraging behavior, home range, movements and activity patterns of Epicrates inornatus (Boidae) at Mata de Plátano Reserve in Arecibo, Puerto Rico**. Caribbean Journal of Science, Vol. 40, No. 3, 343–352, 2004.
- R Core Team (2025). **R: A Language and Environment for Statistical Computing_**. R Foundation for Statistical. Computing, Vienna, Austria. R-4.4.3. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.
- REZENDE, C. L.; SCARANO, F. R.; ASSAD, E. D.; JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; STRASSBURG, B. B. N.; MITTERMEIER, R. A. **From hotspot to hotspot: An**

- opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 16, 208–214, 2018.**
- READING, C.; JOFRÉ, G. **Diet composition changes correlated with body size in the Smooth snake, *Coronella austriaca*, inhabiting lowland heath in southern England.** *Amphibia-Reptilia*, v. 34, n. 4, p. 463-470, 2013.
- RINCÓN-ARANGURI, M.; TORO-CARDONA, F. A.; GALEANO, S. P.; ROA-FUENTES, L.; URBINA-CARDONA, N. **Functional diversity of snakes is explained by the landscape composition at multiple areas of influence.** *Ecology and Evolution*, v. 13, n. 7, p. e10352, 2023.
- RODRÍGUEZ, M. E.; ARZAMENDIA, V.; BELLINI, G. P. GIRAUDO, A. R. **Natural history of the threatened coral snake *Micrurus altirostris* (Serpentes: Elapidae) in Argentina.** *Revista mexicana de biodiversidad*, v. 89, n. 4, p. 1255-1262, 2018.
- ROLIM, G. D. S.; CAMARGO, M. B. P. D.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. D. **Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo.** *Bragantia*, v. 66, p. 711-720, 2007.
- SALA, O.; CHAPIN III, F. S.; ARMEST, J. J.; BERLOW, E.; BLOOMFIELD, J.; RH, D.; HUBER-SANNWALD, E.; HUENNEKE, L.; JACKSON, R.; KINZIG, A. P.; LEEMANS, R.; LODGE, D.; MOONEY, H.; OESTERHELD, M.; POFF, N.; SYKES, M.; WALKER, B.; WALKER, M.; WALL, D. **Global biodiversity scenarios for the year 2100.** *Science*, v. 287 p. 1770–1774, 2000.
- SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M.; BEZERRA, A. S.; ... BOLFE, E. L. **Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation.** *Journal of environmental management*, v. 232, p. 818-828, 2019.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil.** *Environmental monitoring and assessment*, v. 166, n. 1, p. 113-124, 2010.
- SAWAYA, R.J.; MARQUES, O.A.V.; MARTINS, M. **Composition and natural history of a Cerrado snake assemblage at Itirapina, São Paulo State, southeastern Brazil.** *Biota Neotropica*, v. 8, 2008.

- SAZIMA, I.; HADDAD, C. F. B. **Répteis da serra do Japi, sudeste do Brasil: notas sobre história natural**. In: MORELLATO, L. P. C. (ed.). História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil. Editora da UNICAMP/FAPESP, Campinas, p. 212-236, 1992.
- SCHÖNEBERG, Y.; KÖHLER, G. **Distribution and identification of the species in the genus *Helicops* Wagler, 1830 (Serpentes, Colubridae, Xenodontinae)**. Biodiversity data journal, v. 10, p. e69234, 2022.
- SCHWEIGER, A. K.; CAVENDER-BARES, J.; TOWNSEND, P. A.; HOBBIE, S. E.; MADRITCH, M. D.; WANG, R.; ... GAMON, J. A. **Plant spectral diversity integrates functional and phylogenetic components of biodiversity and predicts ecosystem function**. Nature Ecology & Evolution, v. 2, n. 6, p. 976-982, 2018.
- SILVA, E. P. **Revisão taxonômica de um grupo de serpentes da mata atlântica: *Tropidodryas* Fitzinger, 1843 (serpentes, Dipsadidae)**. 2010.
- SMANIOTTO, N. P.; MOREIRA, L. F.; RIVAS, J. A.; STRÜSSMANN, C. **Home range size, movement, and habitat use of yellow anacondas (*Eunectes notaeus*)**. Salamandra, v. 56, n. 2, 2020.
- SORRINI, T. B. **Restaurando o campus: envolvendo alunos e plantando árvores para a transformação ambiental da ESALQ/USP**. 2022. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2022. doi:10.11606/D.11.2022.tde-06042022-164153. Acesso em: 2023-06-26.
- STUGINSKI, D. R.; NAVAS, C. A.; BARROS, F. C.; CAMACHO, A.; BICUDO, J. E. P. W.; GREGO, K. F.; DE CARVALHO, J. E. **Phylogenetic analysis of standard metabolic rate of snakes: a new proposal for the understanding of interspecific variation in feeding behavior**. Journal of Comparative Physiology B, v. 188, n. 2, p. 315-323, 2018.
- TIESZEN, L. L.; BOUTTON, T. W.; TESDAHL, K. G.; SLADE, N. A. **Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet**. Oecologia, v. 57, p. 32-37, 1983.
- TILMAN, D. **Functional diversity**. Encyclopedia of biodiversity, v. 3, n. 1, p. 109-120, 2001.

- TRENTIN, G.; DE MATTOS, E. C. A.; FERREIRA, M. C. **Caracterização e delimitação da região de entorno imediato de áreas urbanas: um estudo para Piracicaba, Brasil**. Revista brasileira de cartografia, 2015.
- TODD, B.; WILLSON, J.; GIBBONS, J. W. **The Global Status of Reptiles and Causes of Their Decline (2^aed)**. CRC Press: Pensacola, FL, USA, 2010. p. 47-67.
- UGOCHUKWU, I.C.I.; MENDOZA-ROLDAN, J. A.; RHIMI, W.; MIGLIANTI, M.; IDIGIE, A. E.; MOSCA, A.; ... CAFARCHIA, C. **Snakes as sentinel of zoonotic yeasts and bio-indicators of environmental quality**. *Sci Rep* **14**, 22491, 2024.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **ESALQ em números, 2021**. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/institucional/esalq-em-numeros>. Acesso em: 03 abril, 2023.
- VÁCLAV, R.; KOLNÍKOVÁ, Z. **Effects of food and thermal regimes on body condition indices and skin colouration in corn snakes**. *Biologia*, v. 72, n. 1, p. 84-95, 2017.
- VALDUJO, P. H.; NOGUEIRA, C.; MARTINS, M. **Ecology of Bothrops neuwiedi pauloensis (Serpentes: Viperidae: Crotalinae) in the Brazilian cerrado**. *Journal of Herpetology*, p. 169-176, 2002.
- VERONESE DE LUNA, I.; UGALDE, M. R.; GUIMARÃES, M. R. S.; HOFFMANN, K.; CITELI, N.; KIEFER, M. C.; HAMDAN, B. **A Key to Identify the Snakes of Rio de Janeiro State, Brazil, along with Notes on Geographical Records**. *Zool Stud*, v. 64, n. 20, 2025.
- VIANA, V.M.; TABANEZ, A.J.A.; MARTINEZ, J.L.A. **Restauração e manejo de fragmentos florestais**. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2. Campos do Jordão, 1992. Anais. São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p. 400-406.
- VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H.; MOUILLLOT, D. **New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology**. *Ecology*, v. 89, n. 8, p. 2290-2301, 2008.
- VITT, L. J.; CALDWELL, J. P. **Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles (4^a ed)**. Academic Press, San Diego, 2014.
- VOGEL, J. C. **Variability of Carbon Isotope Fractionation During Photosynthesis**. In: SAUGIER, B.; EHLERINGER, J. R.; HALL, A. E.;

- FARGUHAR, G. D. Stable Isotopes and Plants Carbon-Water Relations. San Diego: Academic Press; 1993, p. 29-46.
- WAGNER, G. **CF-IRMS (Continuous Flow-Isotope Ratio Mass-Spectrometry), an analytical stable-isotope method for biological samples**. Isotopenpraxis, v. 28, n. 1, p. 114-115, 1992.
- WALTRICK, C. S.; GIASSON, L. O. M. **Taxonomic key to the snakes (Squamata: Ophidia) species of the Itajaí Valley, Santa Catarina, Brazil**. Papéis Avulsos de Zoologia, v. 61, p. e20216120, 2021.
- WOLFE, A. K.; BATEMAN, P. W.; FLEMING, P. A. **Does urbanization influence the diet of a large snake?**. Current Zoology, v. 64, n. 3, p. 311-318, 2018.
- ZAHER, H.; BARBO, F. E.; MARTÍNEZ, P. S.; NOGUEIRA, C.; RODRIGUES, M. T.; SAWAYA, R. J. **Répteis do Estado de São Paulo: conhecimento atual e perspectivas**. Biota Neotropica, v. 11, p. 67-81, 2011.
- ZAPPALORTI, R. T.; MITCHELL, J. C. **Snake use of urban habitats in the New Jersey Pine Barrens**. Urban Herpetology (Eds JC Mitchell, REJ Brown and B. Bartholomew.), p. 355- 359, 2008.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Relatório do R Markdown do cálculo da diversidade taxonômica

A importação dos dados foi feita atribuindo a primeira coluna como nome das linhas.

```
library(tibble)

dados <- read.csv("C:/Users/Caiod/Desktop/R/matriz_abundancia.csv", row.names = 1, sep = ",")

## Warning in read.table(file = file, header = header, sep = sep, quote = quote, :
## linha final incompleta encontrada por readTableHeader em
## 'C:/Users/Caiod/Desktop/R/matriz_abundancia.csv'
```

```
library(iNEXT)

# Converter os dados para o formato de lista
dados_lista <- as.list(as.data.frame(t(dados)))
```

Utilizou-se $q=0$ para realizar o cálculo da riqueza de espécies (número de espécies) observada e esperada. Para outros fins poderia ser utilizado $q=1$ para o cálculo da diversidade de Shannon e $q=2$ para Diversidade de Simpson

```
resultado <- iNEXT(dados_lista, q = 0, datatype = "abundance")
# q = 0: Calcula a riqueza de espécies (diversidade de ordem 0).
plot(resultado)

library(ggplot2)
grafico <- ggiNEXT(resultado) + theme_classic() +
  theme(legend.position = "right") +
  labs(color = "Minha Legenda", x = "Nº de registros", y = "Riqueza de espécies")

## Warning: `aes_string()` was deprecated in ggplot2 3.0.0.
## i Please use tidy evaluation idioms with `aes()`.
## i See also `vignette("ggplot2-in-packages")` for more information.
## i The deprecated feature was likely used in the iNEXT package.
## Please report the issue at <https://github.com/AnneChao/iNEXT/issues>.
## This warning is displayed once every 8 hours.
```

```
## Call `lifecycle::last_lifecycle_warnings()` to see where this warning was
## generated.

print(grafico)

# estimativas de diversidade
estimativas <- resultado$AsyEst

# intervalos de confiança
intervalos_confianca <- resultado$SiNextEst$size_based

print(estimativas)

## Assemblage Diversity Observed Estimator s.e. LCL
## 1 campus_LQ Species richness 10.000000 11.955556 6.0616029 10.0000000
## 2 campus_LQ Shannon diversity 4.015553 4.631193 1.0395864 2.5936414
## 3 campus_LQ Simpson diversity 2.309008 2.379808 0.5866623 1.2299707
## 4 LZV_Piracicaba Species richness 23.000000 43.818841 19.2991895 23.0000000
## 5 LZV_Piracicaba Shannon diversity 12.216436 16.999932 3.0495543 11.0229158
## 6 LZV_Piracicaba Simpson diversity 6.970717 7.641694 1.7777738 4.1573211
## 7 Piracicaba Species richness 27.000000 51.308594 23.5322120 27.0000000
## 8 Piracicaba Shannon diversity 11.668394 14.326401 2.0113551 10.3842170
## 9 Piracicaba Simpson diversity 6.866723 7.199291 0.9433371 5.3503846
## 10 SiBBr_Piracicaba Species richness 8.000000 13.833333 6.2912364 8.0000000
## 11 SiBBr_Piracicaba Shannon diversity 6.089142 9.919565 3.6598009 2.7464870
## 12 SiBBr_Piracicaba Simpson diversity 4.591837 6.176471 2.8873437 0.5173809
## UCL
## 1 23.836079
## 2 6.668745
## 3 3.529645
## 4 81.644557
## 5 22.976949
## 6 11.126067
## 7 97.430882
## 8 18.268584
## 9 9.048198
```

```
## 10 26.163930
```

```
## 11 17.092643
```

```
## 12 11.835560
```

```
print(intervalos_confianca)
```

```
## Assemblage m Method Order.q qD qD.LCL qD.UCL
```

```
## 1 campus_LQ 1 Rarefaction 0 1.000000 1.000000 1.000000
```

```
## 2 campus_LQ 3 Rarefaction 0 1.997181 1.730386 2.263976
```

```
## 3 campus_LQ 5 Rarefaction 0 2.675978 2.212798 3.139157
```

```
## 4 campus_LQ 8 Rarefaction 0 3.576872 2.895769 4.257976
```

```
## 5 campus_LQ 10 Rarefaction 0 4.133425 3.325400 4.941449
```

```
## 6 campus_LQ 12 Rarefaction 0 4.658693 3.730741 5.586645
```

```
## 7 campus_LQ 15 Rarefaction 0 5.391825 4.291559 6.492092
```

```
## 8 campus_LQ 17 Rarefaction 0 5.846418 4.634233 7.058602
```

```
## 9 campus_LQ 20 Rarefaction 0 6.480754 5.103087 7.858422
```

```
## 10 campus_LQ 22 Rarefaction 0 6.873902 5.386830 8.360974
```

```
## 11 campus_LQ 24 Rarefaction 0 7.244679 5.648610 8.840749
```

```
## 12 campus_LQ 27 Rarefaction 0 7.761281 6.002150 9.520411
```

```
## 13 campus_LQ 29 Rarefaction 0 8.080714 6.213052 9.948376
```

```
## 14 campus_LQ 32 Rarefaction 0 8.524494 6.494228 10.554760
```

```
## 15 campus_LQ 34 Rarefaction 0 8.797785 6.659241 10.936329
```

```
## 16 campus_LQ 36 Rarefaction 0 9.053700 6.806980 11.300420
```

```
## 17 campus_LQ 39 Rarefaction 0 9.405960 6.997142 11.814777
```

```
## 18 campus_LQ 41 Rarefaction 0 9.620195 7.103370 12.137020
```

```
## 19 campus_LQ 44 Rarefaction 0 9.911111 7.232169 12.590054
```

```
## 20 campus_LQ 45 Observed 0 10.000000 7.266929 12.733071
```

```
## 21 campus_LQ 46 Extrapolation 0 10.085024 7.296531 12.873517
```

```
## 22 campus_LQ 48 Extrapolation 0 10.244143 7.345073 13.143214
```

```
## 23 campus_LQ 50 Extrapolation 0 10.389726 7.380589 13.398864
```

```
## 24 campus_LQ 52 Extrapolation 0 10.522925 7.404401 13.641450
```

```
## 25 campus_LQ 55 Extrapolation 0 10.701783 7.420773 13.982794
```

```
## 26 campus_LQ 57 Extrapolation 0 10.808437 7.420348 14.196526
```

```
## 27 campus_LQ 59 Extrapolation 0 10.906018 7.411972 14.400064
```

```
## 28 campus_LQ 62 Extrapolation 0 11.037048 7.386350 14.687747
```

```

## 29 campus_LQ 64 Extrapolation 0 11.115182 7.361669 14.868695
## 30 campus_LQ 66 Extrapolation 0 11.186670 7.331700 15.041640
## 31 campus_LQ 69 Extrapolation 0 11.282662 7.278132 15.287191
## 32 campus_LQ 71 Extrapolation 0 11.339902 7.237455 15.442350
## 33 campus_LQ 73 Extrapolation 0 11.392274 7.193357 15.591190
## 34 campus_LQ 76 Extrapolation 0 11.462597 7.121711 15.803483
## 35 campus_LQ 78 Extrapolation 0 11.504531 7.070821 15.938241
## 36 campus_LQ 80 Extrapolation 0 11.542898 7.017818 16.067978
## 37 campus_LQ 83 Extrapolation 0 11.594417 6.934984 16.253849
## 38 campus_LQ 85 Extrapolation 0 11.625137 6.877920 16.372355
## 39 campus_LQ 87 Extrapolation 0 11.653245 6.819652 16.486838
## 40 campus_LQ 90 Extrapolation 0 11.690987 6.730432 16.651542
## 41 SiBBR_Piracicaba 1 Rarefaction 0 1.000000 1.000000 1.000000
## 42 SiBBR_Piracicaba 2 Rarefaction 0 1.838095 1.620221 2.055970
## 43 SiBBR_Piracicaba 3 Rarefaction 0 2.558242 2.067955 3.048529
## 44 SiBBR_Piracicaba 4 Rarefaction 0 3.193407 2.434714 3.952100
## 45 SiBBR_Piracicaba 5 Rarefaction 0 3.767566 2.760178 4.774954
## 46 SiBBR_Piracicaba 6 Rarefaction 0 4.297502 3.060856 5.534149
## 47 SiBBR_Piracicaba 7 Rarefaction 0 4.794406 3.342739 6.246072
## 48 SiBBR_Piracicaba 8 Rarefaction 0 5.265268 3.607040 6.923496
## 49 SiBBR_Piracicaba 9 Rarefaction 0 5.714086 3.852951 7.575221
## 50 SiBBR_Piracicaba 10 Rarefaction 0 6.142857 4.079036 8.206678
## 51 SiBBR_Piracicaba 11 Rarefaction 0 6.552381 4.283912 8.820850
## 52 SiBBR_Piracicaba 12 Rarefaction 0 6.942857 4.466537 9.419178
## 53 SiBBR_Piracicaba 13 Rarefaction 0 7.314286 4.626257 10.002314
## 54 SiBBR_Piracicaba 14 Rarefaction 0 7.666667 4.762743 10.570590
## 55 SiBBR_Piracicaba 15 Observed 0 8.000000 4.875830 11.124170
## 56 SiBBR_Piracicaba 16 Extrapolation 0 8.315315 4.956615 11.674016
## 57 SiBBR_Piracicaba 17 Extrapolation 0 8.613587 5.017583 12.209590
## 58 SiBBR_Piracicaba 18 Extrapolation 0 8.895735 5.060424 12.731046
## 59 SiBBR_Piracicaba 19 Extrapolation 0 9.162632 5.086763 13.238502
## 60 SiBBR_Piracicaba 20 Extrapolation 0 9.415103 5.098128 13.732077
## 61 SiBBR_Piracicaba 21 Extrapolation 0 9.653926 5.095944 14.211907
## 62 SiBBR_Piracicaba 22 Extrapolation 0 9.879840 5.081520 14.678159

```

```
## 63 SiBBR_Piracicaba 23 Extrapolation 0 10.093542 5.056055 15.131029
## 64 SiBBR_Piracicaba 24 Extrapolation 0 10.295693 5.020640 15.570746
## 65 SiBBR_Piracicaba 25 Extrapolation 0 10.486917 4.976268 15.997565
## 66 SiBBR_Piracicaba 26 Extrapolation 0 10.667804 4.923839 16.411769
## 67 SiBBR_Piracicaba 27 Extrapolation 0 10.838914 4.864170 16.813658
## 68 SiBBR_Piracicaba 28 Extrapolation 0 11.000774 4.798002 17.203547
## 69 SiBBR_Piracicaba 29 Extrapolation 0 11.153886 4.726010 17.581762
## 70 SiBBR_Piracicaba 30 Extrapolation 0 11.298721 4.648805 17.948636
## 71 LZV_Piracicaba 1 Rarefaction 0 1.000000 1.000000 1.000000
## 72 LZV_Piracicaba 4 Rarefaction 0 3.334828 3.062881 3.606774
## 73 LZV_Piracicaba 8 Rarefaction 0 5.643578 4.906792 6.380363
## 74 LZV_Piracicaba 12 Rarefaction 0 7.530162 6.385918 8.674406
## 75 LZV_Piracicaba 15 Rarefaction 0 8.786394 7.375257 10.197532
## 76 LZV_Piracicaba 19 Rarefaction 0 10.313557 8.585205 12.041908
## 77 LZV_Piracicaba 23 Rarefaction 0 11.710272 9.697419 13.723124
## 78 LZV_Piracicaba 27 Rarefaction 0 13.003146 10.729283 15.277010
## 79 LZV_Piracicaba 30 Rarefaction 0 13.915661 11.457281 16.374042
## 80 LZV_Piracicaba 34 Rarefaction 0 15.066820 12.373256 17.760384
## 81 LZV_Piracicaba 38 Rarefaction 0 16.152328 13.232542 19.072114
## 82 LZV_Piracicaba 41 Rarefaction 0 16.928218 13.843044 20.013393
## 83 LZV_Piracicaba 45 Rarefaction 0 17.916992 14.615576 21.218407
## 84 LZV_Piracicaba 49 Rarefaction 0 18.858484 15.344654 22.372313
## 85 LZV_Piracicaba 53 Rarefaction 0 19.757355 16.034189 23.480521
## 86 LZV_Piracicaba 56 Rarefaction 0 20.405974 16.527517 24.284430
## 87 LZV_Piracicaba 60 Rarefaction 0 21.239614 17.156047 25.323181
## 88 LZV_Piracicaba 64 Rarefaction 0 22.040533 17.753681 26.327386
## 89 LZV_Piracicaba 68 Rarefaction 0 22.811594 18.322761 27.300427
## 90 LZV_Piracicaba 69 Observed 0 23.000000 18.460801 27.539199
## 91 LZV_Piracicaba 70 Extrapolation 0 23.186716 18.597179 27.776253
## 92 LZV_Piracicaba 73 Extrapolation 0 23.736877 18.996379 28.477374
## 93 LZV_Piracicaba 77 Extrapolation 0 24.447672 19.505626 29.389717
## 94 LZV_Piracicaba 80 Extrapolation 0 24.964209 19.870489 30.057928
## 95 LZV_Piracicaba 84 Extrapolation 0 25.631563 20.334571 30.928554
## 96 LZV_Piracicaba 87 Extrapolation 0 26.116531 20.666128 31.566934
```

```

## 97 LZX_Piracicaba 91 Extrapolation 0 26.743099 21.086699 32.399499
## 98 LZX_Piracicaba 95 Extrapolation 0 27.347490 21.483339 33.211641
## 99 LZX_Piracicaba 98 Extrapolation 0 27.786702 21.765569 33.807835
## 100 LZX_Piracicaba 102 Extrapolation 0 28.354155 22.122193 34.586117
## 101 LZX_Piracicaba 105 Extrapolation 0 28.766525 22.375357 35.157693
## 102 LZX_Piracicaba 109 Extrapolation 0 29.299297 22.694525 35.904069
## 103 LZX_Piracicaba 112 Extrapolation 0 29.686464 22.920589 36.452339
## 104 LZX_Piracicaba 116 Extrapolation 0 30.186675 23.204961 37.168390
## 105 LZX_Piracicaba 120 Extrapolation 0 30.669182 23.470646 37.867718
## 106 LZX_Piracicaba 123 Extrapolation 0 31.019821 23.658162 38.381479
## 107 LZX_Piracicaba 127 Extrapolation 0 31.472838 23.893198 39.052479
## 108 LZX_Piracicaba 130 Extrapolation 0 31.802047 24.058685 39.545410
## 109 LZX_Piracicaba 134 Extrapolation 0 32.227378 24.265593 40.189163
## 110 LZX_Piracicaba 138 Extrapolation 0 32.637655 24.457510 40.817799
## 111 Piracicaba 1 Rarefaction 0 1.000000 1.000000 1.000000
## 112 Piracicaba 8 Rarefaction 0 5.410737 4.908790 5.912684
## 113 Piracicaba 15 Rarefaction 0 8.082855 7.146487 9.019223
## 114 Piracicaba 22 Rarefaction 0 10.169895 8.888246 11.451544
## 115 Piracicaba 29 Rarefaction 0 11.951176 10.373616 13.528736
## 116 Piracicaba 36 Rarefaction 0 13.532464 11.688284 15.376644
## 117 Piracicaba 43 Rarefaction 0 14.967032 12.874711 17.059354
## 118 Piracicaba 50 Rarefaction 0 16.287150 13.959486 18.614814
## 119 Piracicaba 57 Rarefaction 0 17.514754 14.961414 20.068094
## 120 Piracicaba 64 Rarefaction 0 18.665729 15.894400 21.437057
## 121 Piracicaba 71 Rarefaction 0 19.751961 16.768864 22.735058
## 122 Piracicaba 78 Rarefaction 0 20.782538 17.592675 23.972400
## 123 Piracicaba 85 Rarefaction 0 21.764535 18.371826 25.157243
## 124 Piracicaba 92 Rarefaction 0 22.703574 19.110941 26.296207
## 125 Piracicaba 99 Rarefaction 0 23.604220 19.813625 27.394814
## 126 Piracicaba 106 Rarefaction 0 24.470259 20.482708 28.457811
## 127 Piracicaba 113 Rarefaction 0 25.304897 21.120394 29.489400
## 128 Piracicaba 120 Rarefaction 0 26.110886 21.728358 30.493413
## 129 Piracicaba 127 Rarefaction 0 26.890625 22.307818 31.473432
## 130 Piracicaba 128 Observed 0 27.000000 22.388322 31.611678

```

```

## 131 Piracicaba 129 Extrapolation 0 27.108885 22.468261 31.749510
## 132 Piracicaba 135 Extrapolation 0 27.752029 22.935906 32.568153
## 133 Piracicaba 142 Extrapolation 0 28.480793 23.455263 33.506323
## 134 Piracicaba 149 Extrapolation 0 29.187012 23.946094 34.427930
## 135 Piracicaba 155 Extrapolation 0 29.774927 24.344012 35.205841
## 136 Piracicaba 162 Extrapolation 0 30.441109 24.781722 36.100495
## 137 Piracicaba 169 Extrapolation 0 31.086682 25.191104 36.982259
## 138 Piracicaba 175 Extrapolation 0 31.624110 25.519767 37.728452
## 139 Piracicaba 182 Extrapolation 0 32.233084 25.877756 38.588412
## 140 Piracicaba 189 Extrapolation 0 32.823219 26.208979 39.437458
## 141 Piracicaba 195 Extrapolation 0 33.314496 26.472165 40.156827
## 142 Piracicaba 202 Extrapolation 0 33.871175 26.755788 40.986562
## 143 Piracicaba 209 Extrapolation 0 34.410633 27.015042 41.806223
## 144 Piracicaba 215 Extrapolation 0 34.859722 27.218573 42.500871
## 145 Piracicaba 222 Extrapolation 0 35.368597 27.435072 43.302122
## 146 Piracicaba 229 Extrapolation 0 35.861729 27.629927 44.093531
## 147 Piracicaba 235 Extrapolation 0 36.272253 27.780449 44.764057
## 148 Piracicaba 242 Extrapolation 0 36.737429 27.937656 45.537201
## 149 Piracicaba 249 Extrapolation 0 37.188214 28.075936 46.300491
## 150 Piracicaba 256 Extrapolation 0 37.625053 28.196201 47.053905
## SC SC.LCL SC.UCL
## 1 0.4202020 0.283977299 0.5564267
## 2 0.6466593 0.538619833 0.7546987
## 3 0.6896057 0.607277589 0.7719339
## 4 0.7176887 0.644742481 0.7906349
## 5 0.7335729 0.662196892 0.8049489
## 6 0.7485284 0.677708704 0.8193481
## 7 0.7694151 0.698670858 0.8401593
## 8 0.7823887 0.711493546 0.8532838
## 9 0.8005571 0.729360390 0.8717537
## 10 0.8118863 0.740503014 0.8832696
## 11 0.8226518 0.751123656 0.8941799
## 12 0.8378603 0.766221543 0.9094991
## 13 0.8474513 0.775813277 0.9190892

```


14 0.8611497 0.789602227 0.9326972
15 0.8699017 0.798444908 0.9413584
16 0.8784120 0.807036735 0.9497873
17 0.8908420 0.819491524 0.9621924
18 0.8989832 0.827523652 0.9704427
19 0.9111111 0.839187204 0.9830350
20 0.9149758 0.842192099 0.9877596
21 0.9186725 0.846239245 0.9911059
22 0.9255908 0.853922758 0.9972588
23 0.9319205 0.861102085 1.0000000
24 0.9377117 0.867817827 1.0000000
25 0.9454882 0.877092314 1.0000000
26 0.9501253 0.882782475 1.0000000
27 0.9543679 0.888107159 1.0000000
28 0.9600649 0.895458764 1.0000000
29 0.9634620 0.899967587 1.0000000
30 0.9665702 0.904186380 1.0000000
31 0.9707438 0.910012675 1.0000000
32 0.9732325 0.913588626 1.0000000
33 0.9755095 0.916937789 1.0000000
34 0.9785670 0.921570810 1.0000000
35 0.9803902 0.924420457 1.0000000
36 0.9820584 0.927094825 1.0000000
37 0.9842983 0.930805204 1.0000000
38 0.9856340 0.933094940 1.0000000
39 0.9868561 0.935250087 1.0000000
40 0.9884970 0.938251819 1.0000000
41 0.1619048 0.000000000 0.3797793
42 0.2798535 0.006529339 0.5531776
43 0.3648352 0.093634270 0.6360361
44 0.4258408 0.171359484 0.6803222
45 0.4700633 0.230705001 0.7094215
46 0.5030969 0.272564450 0.7336294
47 0.5291375 0.301293605 0.7569815

48 0.5511822 0.321684479 0.7806798
49 0.5712288 0.337577282 0.8048803
50 0.5904762 0.351466362 0.8294860
51 0.6095238 0.364640727 0.8544069
52 0.6285714 0.377535781 0.8796071
53 0.6476190 0.390127043 0.9051111
54 0.6666667 0.402302490 0.9310308
55 0.6846847 0.410974604 0.9583948
56 0.7017288 0.427854965 0.9756025
57 0.7178515 0.444536788 0.9911663
58 0.7331028 0.461007928 1.0000000
59 0.7475297 0.477230328 1.0000000
60 0.7611767 0.493159259 1.0000000
61 0.7740861 0.508752632 1.0000000
62 0.7862976 0.523974987 1.0000000
63 0.7978491 0.538798716 1.0000000
64 0.8087762 0.553203904 1.0000000
65 0.8191126 0.567177556 1.0000000
66 0.8288903 0.580712591 1.0000000
67 0.8381395 0.593806826 1.0000000
68 0.8468887 0.606462031 1.0000000
69 0.8551650 0.618683100 1.0000000
70 0.8629939 0.630477350 1.0000000
71 0.1308610 0.067589589 0.1941325
72 0.3628943 0.244211753 0.4815768
73 0.4995456 0.388991657 0.6100995
74 0.5688302 0.472686064 0.6649743
75 0.6040169 0.516031924 0.6920019
76 0.6398302 0.559449038 0.7202113
77 0.6678589 0.592302147 0.7434157
78 0.6907737 0.618157679 0.7633898
79 0.7055431 0.634322653 0.7767636
80 0.7228112 0.652791345 0.7928310
81 0.7379112 0.668660793 0.8071615

82 0.7480892 0.679265318 0.8169132
83 0.7603892 0.692023071 0.8287554
84 0.7714530 0.703452964 0.8394531
85 0.7814593 0.713724835 0.8491937
86 0.7883534 0.720730014 0.8559768
87 0.7968199 0.729186722 0.8644531
88 0.8045404 0.736667404 0.8724134
89 0.8115942 0.743199685 0.8799887
90 0.8132839 0.744723176 0.8818447
91 0.8149585 0.746226255 0.8836908
92 0.8198927 0.750628161 0.8891572
93 0.8262675 0.756292868 0.8962422
94 0.8309002 0.760421094 0.9013792
95 0.8368854 0.765799018 0.9079718
96 0.8412349 0.769753604 0.9127162
97 0.8468543 0.774936964 0.9187717
98 0.8522749 0.780029469 0.9245203
99 0.8562140 0.783793825 0.9286342
100 0.8613033 0.788742935 0.9338636
101 0.8650017 0.792403306 0.9376000
102 0.8697799 0.797215576 0.9423442
103 0.8732522 0.800773355 0.9457311
104 0.8777384 0.805447665 0.9500292
105 0.8820658 0.810041424 0.9540903
106 0.8852106 0.813433000 0.9569882
107 0.8892735 0.817882283 0.9606648
108 0.8922261 0.821163896 0.9632882
109 0.8960407 0.825464628 0.9666168
110 0.8997203 0.829679027 0.9697616
111 0.1389026 0.092942920 0.1848622
112 0.5591699 0.485890430 0.6324494
113 0.6760679 0.616945401 0.7351903
114 0.7302172 0.678886406 0.7815480
115 0.7634428 0.716496845 0.8103887

116 0.7869862 0.742808507 0.8311639
117 0.8050005 0.762789970 0.8472110
118 0.8193875 0.778632834 0.8601421
119 0.8311972 0.791491898 0.8709026
120 0.8410981 0.802096034 0.8801002
121 0.8495511 0.810960179 0.8881419
122 0.8568852 0.818462478 0.8953078
123 0.8633379 0.824879219 0.9017965
124 0.8690814 0.830407709 0.9077551
125 0.8742416 0.835185516 0.9132977
126 0.8789121 0.839307464 0.9185167
127 0.8831642 0.842839899 0.9234884
128 0.8870537 0.845831521 0.9282758
129 0.8906250 0.848320410 0.9329296
130 0.8911149 0.848651137 0.9335787
131 0.8916026 0.848977687 0.9342276
132 0.8944835 0.850860878 0.9381061
133 0.8977478 0.852930366 0.9425653
134 0.9009112 0.854907458 0.9469149
135 0.9035446 0.856554431 0.9505348
136 0.9065286 0.858441336 0.9546159
137 0.9094203 0.860306470 0.9585342
138 0.9118276 0.861896054 0.9617592
139 0.9145554 0.863745951 0.9653648
140 0.9171988 0.865594574 0.9688030
141 0.9193993 0.867179525 0.9716192
142 0.9218929 0.869029492 0.9747562
143 0.9243092 0.870879832 0.9777387
144 0.9263208 0.872465202 0.9801765
145 0.9286002 0.874312590 0.9828879
146 0.9308091 0.876155772 0.9854625
147 0.9326480 0.877730753 0.9875652
148 0.9347316 0.879560691 0.9899026

```
## 149 0.9367508 0.881380566 0.9921211
```

```
## 150 0.9387075 0.883188412 0.9942267
```

APÊNDICE B - Relatório do R Markdown do cálculo da diversidade funcional

```
library(FD)
```

```
## Carregando pacotes exigidos: ade4
```

```
## Carregando pacotes exigidos: ape
```

```
## Carregando pacotes exigidos: geometry
```

```
## Carregando pacotes exigidos: vegan
```

```
## Carregando pacotes exigidos: permute
```

```
library(dplyr)
```

```
##
```

```
## Anexando pacote: 'dplyr'
```

```
## O seguinte objeto é mascarado por 'package:ape':
```

```
##
```

```
## where
```

```
## Os seguintes objetos são mascarados por 'package:stats':
```

```
##
```

```
## filter, lag
```

```
## Os seguintes objetos são mascarados por 'package:base':
```

```
##
```

```
## intersect, setdiff, setequal, union
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(patchwork)
```

```
library(tibble)
```

```
library(readr)
```

```
library(tidyr)
```

```
library(ggrepel)
```

A primeira linha ('especies') é usada como nome das colunas

```
abundance <- read.csv("C:/Users/Caiod/Desktop/R/matriz_abundancia.csv", row.names = 1, sep = ",")
```

```
## Warning in read.table(file = file, header = header, sep = sep, quote = quote, :
```

```
## linha final incompleta encontrada por readTableHeader em
```

```
## 'C:/Users/Caiod/Desktop/R/matriz_abundancia.csv'
```

A primeira coluna ('especies') é usada como nome da linha

```
traits <- read.csv("C:/Users/Caiod/Desktop/R/tracos2.csv", row.names = 1, sep = ",")
```

Garantir que os dados estejam no formato correto.

Categorias

```
traits$habito <- as.factor(traits$habito)
```

```
traits$periodo_atividade <- as.factor(traits$periodo_atividade)
```

```
traits$estrategia_forrageamento <- as.factor(traits$estrategia_forrageamento)
```

As espécies foram alinhadas para que não houvesse incompatibilidade entre as espécies da matriz de abundância e de traços funcionais, evitando um erro.

```
especies_comuns <- intersect(colnames(abundance), rownames(traits))
```

Filtrar e alinhar as tabelas, garantindo a mesma ordem

```
abundance_alinhada <- abundance %>%
```

```
select(all_of(especies_comuns)) %>%
```

```
select(order(colnames(.))) # Ordena colunas (Espécies)
```

```
traits_alinhado <- traits %>%
```

```
filter(rownames(.) %in% especies_comuns)
```

```
traits_alinhado <- traits_alinhado[colnames(abundance_alinhada), ] # Ordena linhas (Espécies)
```

verificar quantas sp foram alinhadas

```
length(especies_comuns)
```

```
## [1] 27
```

```
# Verificar NAs
```

```
any(is.na(traits_alinhado$CRC))
```

```
## [1] FALSE
```

```
any(is.na(traits_alinhado$massa_corporal))
```

```
## [1] FALSE
```

```
any(is.na(traits_alinhado$habito))
```

```
## [1] FALSE
```

```
any(is.na(traits_alinhado$periodo_atividade))
```

```
## [1] FALSE
```

```
any(is.na(traits_alinhado$estrategia_forrageamento))
```

```
## [1] FALSE
```

Caso as variáveis numéricas apresentassem uma correlação alta, elas seriam redundantes, sendo necessário excluir uma delas.

```
dados_numericos <- traits_alinhado %>%
```

```
select(where(is.numeric)) # Seleciona colunas que são puramente numéricas
```

```
if (ncol(dados_numericos) >= 2) {
```

```
  # Calcular a Matriz de Correlação
```

```
  matriz_correlacao <- cor(dados_numericos, method = "pearson", use = "complete.obs")
```

```
  print(round(matriz_correlacao, 2))
```

```
##
```

```
## --- Matriz de Correlação dos Traços Numéricos ---
```

```
## massa_corporal CRC
```

```
## massa_corporal 1.00 0.74
```

```
## CRC 0.74 1.00
```

```
# CÁLCULO DOS ÍNDICES DE DIVERSIDADE FUNCIONAL (dbFD)
```

```
indices_funcionais <- dbFD(
```

```
  x = traits_alinhado,
```

```

a = abundance_alinhada,
calc.FRic = TRUE,
stand.FRic = TRUE,
corr = "cailliez"
)

## Species x species distance matrix was not Euclidean. Cailliez correction was applied.
## FRic: Dimensionality reduction was required. The last 18 PCoA axes (out of 25 in total) were
removed.
## FRic: Quality of the reduced-space representation (based on corrected distance matrix) =
0.7654883

print(as.data.frame(indices_funcionais[c("FDis", "FEve", "FRic"))))

## FDis FEve FRic
## Campus_LQ 0.3880318 0.8050044 0.002685084
## SiBBR_Piracicaba 0.4465086 0.8723293 0.004494191
## LZV_Piracicaba 0.2608989 0.7843950 0.651883958
## Piracicaba 0.4261503 0.7130162 1.000000000

# Calcular matriz de distância funcional (Gower para dados mistos)
dist_matrix <- gowdis(traits_alinhado)

# Aplicar PCoA
pcoa_result <- cmdscale(dist_matrix, k = 2, eig = TRUE)

# Criar um data frame com as coordenadas da PCoA
pcoa_coords <- data.frame(
  PCoA1 = pcoa_result$points[,1],
  PCoA2 = pcoa_result$points[,2],
  Espécie = rownames(pcoa_result$points) # Usa os nomes das espécies do PCoA
)

# variação de eixo
pcoa_eigen <- (pcoa_result$eig / sum(pcoa_result$eig)) * 100
eixo1_label <- paste0("Eixo 1 (", round(pcoa_eigen[1], 1), "%)")
eixo2_label <- paste0("Eixo 2 (", round(pcoa_eigen[2], 1), "%)")

```


Foi feita a separação dos gráficos de PCoA por amostra (“local”), dessa forma um data frame novo foi criado para fazer essa separação junto das coordenadas da PCoA.

```

especies_por_local_df <- as.data.frame(t(abundance_alinhada)) %>%
  rownames_to_column(var = "Especie") %>%
  tidyr::pivot_longer(
    cols = -Especie,
    names_to = "Local",
    values_to = "Abundancia"
  ) %>%
  filter(Abundancia > 0) %>%
  inner_join(pcoa_coords, by = "Especie")

ggplot() +

  # Todos os pontos serao plotados em cinza claro (total de especies)
  geom_point(data = pcoa_coords, aes(x = PCoA1, y = PCoA2),
    size = 3, color = "gray80") +

  # Plotar os pontos das espécies presentes em cada local de outra cor
  geom_point(data = especies_por_local_df, aes(x = PCoA1, y = PCoA2, color = Local),
    size = 3) +

  # Adicionar o nome das especies nos locais
  geom_text_repel(data = especies_por_local_df, aes(x = PCoA1, y = PCoA2, label = Especie, color =
    Local),
    size = 2.7, max.overlaps = 12, show.legend = FALSE) +

  # Criar o painel com 2 colunas
  facet_wrap(~ Local, ncol = 2) +

  # Layout
  theme_classic() +
  labs(

```

```
title = "PCoA dos Traços Funcionais",
x = eixo1_label,
y = eixo2_label,
color = "Amostra"
) +
theme(
  legend.position = "none"
)

## Warning: ggrepel: 14 unlabeled data points (too many overlaps). Consider
## increasing max.overlaps

## Warning: ggrepel: 8 unlabeled data points (too many overlaps). Consider
## increasing max.overlaps
```

ANEXOS

ANEXO A

O número de tombo (código VESALQ) dos espécimes analisados da coleção do Laboratório de Zoologia de Vertebrados: 742, 775, 777, 784, 786, 787, 795, 797, 808, 814, 817, 818, 820, 827, 833, 840, 841, 852, 864, 865, 876, 894, 909, 916, 937, 944, 950, 957, 971, 973, 974, 976, 978, 979, 984, 987, 988, 996, 1067, 1205, 1229, 1244, 1245, 1306, 1307, 1308, 1311, 1312, 1313, 1314, 1315, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320, 1321, 1322, 1323, 1324, 1325, 1326, 1327, 1328, 1329, 1330, 1331, 1332, 1333, 1336, 1358, 1458.