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

**EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO NOS PADRÕES MORFOLÓGICOS
DE AVES DE SUB-BOSQUE**

Patricia dos Santos Ferreira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, EVOLUÇÃO
E BIODIVERSIDADE

EFEITOS DA FRAGMENTAÇÃO NOS PADRÕES MORFOLÓGICOS
DE AVES DE SUB-BOSQUE

PATRICIA DOS SANTOS FERREIRA

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia, Evolução e Biodiversidade

Orientador: Prof. Dr. Mauro Galetti Rodrigues

F383e

Ferreira, Patricia dos Santos

Efeitos da fragmentação nos padrões morfológicos de aves de sub-bosque / Patricia dos Santos Ferreira. -- Rio Claro, 2025
34 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientador: Mauro Galetti Rodrigues

1. Aves neotropicais. 2. Fragmentação do habitat. 3. Variação morfológica. 4. Respostas evolutivas rápidas. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeitos da fragmentação nos padrões morfológicos de aves de sub-bosque

AUTORA: PATRICIA DOS SANTOS FERREIRA

ORIENTADOR: MAURO GALETTI RODRIGUES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ecologia, Evolução e Biodiversidade, área: Biodiversidade pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MAURO GALETTI RODRIGUES (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / Unesp IB Rio Claro

Documento assinado digitalmente
 **MAURO GALETTI RODRIGUES**
Data: 02/04/2025 08:01:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente
 **WESLEY RODRIGUES SILVA**
Data: 20/03/2025 14:54:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. WESLEY RODRIGUES SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Animal / UNICAMP

Marco Aurelio Pizo
Ferreira: 12081690845
845
Assinado de forma digital
por Marco Aurelio Pizo
Ferreira: 12081690845
Dados: 2025.03.26
17:58:02 -03'00'

Prof. Dr. MARCO AURELIO PIZO FERREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / Unesp IB Rio Claro

Rio Claro, 20 de março de 2025

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2022/15169-0 e Processo nº 2024/10174-0. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Mauro Galetti, que me acompanha desde 2018 e sempre me proporcionou oportunidades únicas, permitindo meu crescimento tanto pessoal quanto profissional e por ter me ensinado o amor pelas aves.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro, por todo o apoio no início do mestrado, em momentos e de formas que eu jamais poderia imaginar. Sem sua ajuda, nada disso teria sido possível.

Ao Prof. Dr. Luís Fábio Silveira que me permitiu trabalhar com a coleção de aves do MZUSP, agradeço também aos seus alunos que sempre foram muito solícitos e amigáveis, sempre que precisei de ajuda com as gavetas, eles estavam disponíveis.

Ao Prof. Dr. Wesley Dáttilo, que me recebeu no México de braços abertos em seu laboratório. Desde o nosso primeiro contato, sempre foi muito atencioso. As análises que fiz não seriam as mesmas sem a sua orientação.

Aos colegas do Labic, obrigada pelo apoio, pelas discussões científicas enriquecedoras e por todos os momentos compartilhados ao longo desta jornada. O ambiente colaborativo e a troca constante de conhecimento tornaram meu percurso muito mais leve e estimulante.

Ao Instituto de Ecologia (INECOL) pelos meses que passei no Dáttilo's Lab. Aprendi muito com a banda mexicana, com certeza, essa dissertação tem um pouco de cada um deles, seja nas análises, nas construções de imagens, nos palpites de design, nas correções... enfim, obrigada por tornarem meu estágio no exterior uma experiência incrível.

Agradeço ao Observatório de Aves da Mantiqueira - OAMa, pela oportunidade de realizar o curso de Monitoramento de Avifauna. Pedro, Luiza e Affonso, obrigada por me escolherem, não sei como teria finalizado as coletas de campo sem esse curso. Tudo o que sei sobre ética e anilhamento de aves aprendi com vocês e me sinto extremamente privilegiada por isso. Graças a vocês, sinto-me segura para seguir com um trabalho de qualidade com as aves. Obrigada Dani, Victor e André!

Agradeço à minha mãe, Sandra, que, mesmo distante, sempre me apoiou e continua me apoiando. Mesmo sem entender muito, ela sempre acreditou em mim e nas minhas aventuras.

Ao Felipe que enfrentou todas as barras comigo mesmo nas horas mais improváveis, seguimos juntos, independentemente de como, seguimos. Ter você ao meu lado durante todo esse processo me ajudou demais.

Aos meus amigos de Rio Claro e às minhas mães de santo, que estiveram ao meu lado nos momentos bons e difíceis, sempre me motivando a seguir em frente, mesmo quando os desafios pareciam gigantescos.

Por fim, a todos que me ajudaram quando esse projeto ainda era apenas uma ideia, a Juliana Bento que inicialmente me ajudou com a escrita e com parte dos campos, que mesmo duros, foram superados. Ao Dr. Augusto Batisteli que me apresentou ao universo das redes de neblina e me deu as primeiras noções básicas de como trabalhar com esse material e a como segurar aves, duas coisas imprescindíveis para este estudo. Ao Jean que me ajudou com análises, tabelas bagunçadas e muitas conversas. A todos que foram a campo comigo, os técnicos de campo Fernando e Carlinhos. Aos parceiros de campo Sérgio, Karine, alunos da pós e alunos da graduação, sei que os campos nunca foram fáceis, mas com o apoio de vocês, se tornou possível.

RESUMO

Mudanças rápidas nos ambientes naturais podem afetar a qualidade do habitat das espécies, levando a alterações fenotípicas aceleradas. Essas mudanças podem ocorrer por seleção natural e efeitos ambientais, influenciando múltiplos grupos ecológicos. Um método para detectar essas alterações é a análise da assimetria flutuante. Neste estudo, testamos se a fragmentação da Mata Atlântica influencia a diversidade morfológica e a assimetria flutuante de quatro aves florestais de sub-bosque (barranqueiro-de-olho-branco, chupa-dente, tangará-dançarino e tiê-preto). Para isso, ajustamos modelos de regressão linear, usando métricas de paisagem (cobertura florestal e conectividade funcional) como variáveis preditoras e a assimetria flutuante como variável resposta. Propusemos duas hipóteses sobre a assimetria: (1) maior cobertura florestal reduz a assimetria flutuante; (2) a conectividade funcional segue o mesmo padrão. Também formulamos hipóteses sobre os bicos: (1) em áreas fragmentadas, a seleção favorece bicos menores e mais versáteis; (2) em áreas preservadas, bicos maiores podem ser vantajosos para exploração de recursos específicos. Para chupa-dente, encontramos relação significativa entre cobertura florestal e morfologia: indivíduos em áreas mais preservadas apresentaram bicos menores e menor assimetria nos tarsos. Para as demais espécies, não houve relação significativa com as variáveis de paisagem. Assim como o bico, os tarsos são fundamentais para locomoção e ecologia, e sua assimetria pode refletir estresse ambiental. Nossos achados sugerem que a perda de habitat pode impulsionar rápidas mudanças evolutivas.

Palavras-chave: Aves neotropicais, fragmentação do habitat, variação morfológica, respostas evolutivas rápidas.

ABSTRACT

Rapid changes in natural environments can affect habitat quality for species, leading to accelerated phenotypic alterations. These changes may occur through natural selection and environmental effects, influencing multiple ecological groups. One method to detect such alterations is the analysis of fluctuating asymmetry. In this study, we tested whether the fragmentation of the Atlantic Forest influences the morphological diversity and fluctuating asymmetry of four understory forest bird species (White-eyed Foliage-gleaner, Rufous Gnateater, Blue Manakin, and Ruby-crowned Tanager). To do so, we fit linear regression models using landscape metrics (forest cover and functional connectivity) as predictor variables and fluctuating asymmetry as the response variable. We proposed two hypotheses regarding asymmetry: (1) greater forest cover reduces fluctuating asymmetry; (2) functional connectivity follows the same pattern. Additionally, we formulated hypotheses concerning beak morphology: (1) in highly fragmented areas, selection favors smaller, more versatile beaks; (2) in less fragmented areas, larger beaks may be advantageous for exploiting specific food resources. For the Rufous Gnateater, we found a significant relationship between forest cover and morphology: individuals in more forested areas exhibited smaller beaks and lower tarsus asymmetry. No significant relationships with landscape variables were observed for the other species. Like the beak, the tarsus plays a crucial role in locomotion and ecology, and its asymmetry may indicate environmental stress. Our findings suggest that habitat loss may drive rapid evolutionary changes.

Keywords: Neotropical birds, habitat fragmentation, morphological variation, rapid evolutionary responses.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1	Área de estudo.....	12
2.2	Coleta de dados.....	13
2.2.1	Captura de aves e uso de redes de neblina.....	13
2.2.2	Seleção das espécies alvo.....	14
2.2.3	Descrição das espécies alvo.....	14
2.2.4	Características morfológicos.....	15
2.2.5	Espécimes de museu	16
2.2.6	Análises estatísticas	16
3.	RESULTADOS.....	18
4.	DISCUSSÃO	21
5.	CONCLUSÃO	25
6.	REFERÊNCIAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

O aumento da influência humana sobre o meio ambiente está alterando progressivamente os ambientes naturais, levando à perda de biodiversidade e comprometendo a manutenção dos serviços ecossistêmicos (Lewis 2006, Ceballos et al. 2015). O aumento da fragmentação florestal resulta na redução da cobertura florestal, amplifica os efeitos de borda e contribui para a redução do tamanho dos fragmentos remanescentes que podem estar estrutural e funcionalmente conectados (Fahrig 2003, Fahrig 2011). Por exemplo, uma combinação dos efeitos do tamanho dos fragmentos, efeitos de borda e mudanças na estrutura da vegetação dentro dos remanescentes florestais e seus arredores pode determinar quais espécies são capazes de persistir em paisagens modificadas (Magnago et al. 2015, Pfeifer et al. 2017).

Devido à sensibilidade das espécies, a fragmentação do habitat afeta não apenas a riqueza de espécies, mas também a estrutura da metacomunidade, a composição e a diversidade funcional (Uezu & Metzger 2011, Magioli et al. 2015, Bregman et al. 2016). Assim, o grau de tolerância de cada espécie às mudanças ambientais varia de acordo com sua capacidade de modificar ou expandir seu nicho e responder a diferentes pressões seletivas, ajustando-se às novas condições do habitat (Antunes 2005). Portanto, podem ocorrer efeitos negativos, positivos ou neutros (Fahrig 2003, Hagen et al. 2012). Essa ampla gama de respostas à fragmentação pode impulsionar mudanças evolutivas, como já foi relatado para a vegetação (Galetti et al. 2013).

Nos ecossistemas naturais, as aves desempenham um papel fundamental no funcionamento ecológico, pois participam de inúmeras interações ecológicas essenciais para a manutenção dos ecossistemas (Sekercioglu et al. 2016). As aves estabelecem interações mutualísticas, como a dispersão de sementes e a polinização, que são fundamentais para o fluxo gênico de múltiplas espécies vegetais (Carlo & Morales 2016). Além disso, também apresentam interações antagônicas, como a predação, que pode regular populações de organismos invasores (Díaz-Sieffer et al., 2022). Essas interações são essenciais para manter a homeostase dos ecossistemas (Sekercioglu et al. 2016). Os benefícios dessas interações são considerados parte dos serviços ecossistêmicos prestados pelas aves (Nicole et al., 2020), os quais podem ser afetados pelas atividades humanas.

Dado seu papel ecológico crucial, as aves não são apenas fornecedoras de serviços ecossistêmicos essenciais, mas também altamente sensíveis às condições ambientais. Sua dependência de ecossistemas estáveis as torna valiosas indicadores da qualidade ecológica, pois respondem rapidamente a mudanças ambientais em múltiplas escalas (Serrano, 2008). A sensibilidade das aves às mudanças ambientais é evidenciada por estudos sobre os tentilhões de Darwin nas Ilhas Galápagos (Grant & Grant, 1993). Elas são particularmente vulneráveis à fragmentação do habitat e suas consequências. Entre essas consequências, as espécies de aves podem ser extintas localmente se não conseguirem se adaptar a novos ambientes, sofrer declínios populacionais ou apresentar impactos em seus aspectos fisiológicos ou morfológicos (Ellegren & Sheldon, 2008).

Assim, é essencial compreender como a fragmentação florestal afeta os fenótipos das espécies sob uma perspectiva morfológica. Esses impactos podem ser quantificados, por exemplo, por meio da assimetria flutuante. A assimetria flutuante é definida como uma pequena variação aleatória de uma característica morfológica em relação à simetria bilateral perfeita (Van Valen 1962). Esse é um índice amplamente utilizado para descrever variações fenotípicas causadas por distúrbios ambientais (degradação do habitat, baixa disponibilidade de alimento, ação de parasitas e/ou doenças) e fatores genéticos (resultantes de desarmonia genética causada por alta endogamia, baixas taxas de heterozigosidade ou hibridização) (Leary & Allendorf 1989, Parsons 1992, Anciães & Marini 2000, Lomônaco & Germanos 2001, Carcamo et al. 2008, Hopton et al. 2009).

A assimetria corporal é medida por meio das diferenças entre características bilaterais nos lados direito e esquerdo de um organismo dentro de uma amostra populacional. A presença de assimetria flutuante pode refletir instabilidade no desenvolvimento, ou seja, a incapacidade do genótipo de produzir um fenótipo previsto em um determinado ambiente, sendo considerada um marcador de desenvolvimento quando há algum tipo de estresse (Clarke et al. 1986; Parsons 1990, 1992). Anciães & Marini (2000) encontraram valores mais elevados de assimetria flutuante em passeriformes em áreas mais fragmentadas em comparação com áreas contínuas da Mata Atlântica. Møller e Swaddle (1997) relataram níveis mais altos de assimetria flutuante em populações de aves mais próximas à borda do fragmento em comparação com populações localizadas no interior do fragmento.

Estudos sobre assimetria flutuante fornecem evidências de que há seleção direta para indivíduos mais simétricos, seja em relação ao uso de recursos naturais (Swaddle 1997), seleção sexual (Møller 1993, Watson & Thornhill 1994), herbivoria (Cornelissen & Stiling et al. 2005), vantagens na competição intraespecífica (Sneddon & Swaddle 1998) ou predação (Galeotti et al. 2005). Neste estudo, buscamos entender o impacto da fragmentação e das mudanças no habitat sobre quatro espécies de aves de sub-bosque: barranqueiro-de-olho-branco (*Automolus leucophthalmus*), chupa-dente (*Conopophaga lineata*), tangará dançarino (*Chiroxiphia caudata*) e tiê-preto (*Tachyphonus coronatus*), que ocorrem no corredor Cantareira-Mantiqueira. Esperamos encontrar indivíduos mais simétricos em áreas com maior cobertura florestal e conectividade com outros fragmentos, enquanto em áreas com menor cobertura florestal e menos conexões, indivíduos mais assimétricos (Figura 1-A). Além disso, de acordo com Grant & Grant (2006), prevemos que, em áreas altamente fragmentadas, a seleção favorecerá bicos menores e mais versáteis, enquanto em áreas menos fragmentadas, bicos maiores podem ser vantajosos para a exploração de recursos alimentares específicos (Figura 1-B).

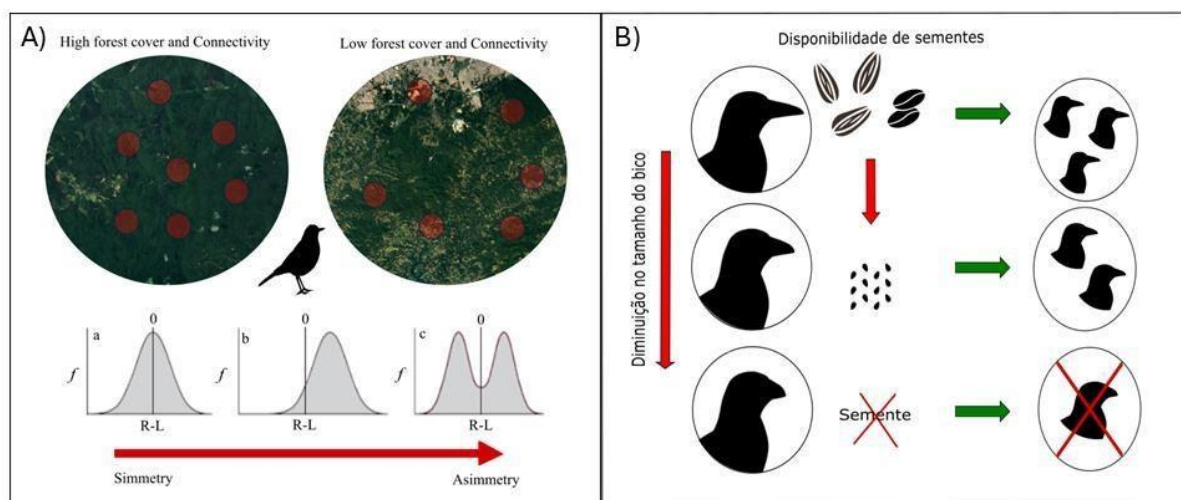


Figura 1. A) Distribuições de frequência de R-L (diferença nos valores entre os lados direito e esquerdo do corpo) em organismos bilaterais: a) Assimetria flutuante; b) Assimetria direcional; c) Antisimetria (Ottaviano & Scapini, 2010). B) Grant & Grant (2006) explicam que o deslocamento de caracteres nos tentilhões de Darwin é impulsionado pela competição por recursos limitados, levando à evolução dos bicos por seleção natural e à adaptação a diferentes fontes de alimento, reduzindo a competição entre espécies.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada na região nordeste do estado de São Paulo, dentro do bioma Mata Atlântica, e faz parte do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Corredor Ecológico Cantareira-Mantiqueira (PELD-CCM). Está situada entre as coordenadas geográficas de Longitude Leste = -45.962° e Latitude Norte = -22.813° ; Longitude Oeste = -46.868° e Latitude Sul = -23.516° , abrangendo uma área de aproximadamente 120 km x 70 km e envolvendo 42 municípios do estado de São Paulo, Brasil. Essa região compreende os dois maiores remanescentes de vegetação nativa contínua, conectados por corredores ecológicos, presentes nas serras da Cantareira e da Mantiqueira, e inclui o Parque Estadual da Cantareira (núcleos: Pedra Grande, Águas Claras, Cabo Sul e Engordadouro), o Parque Estadual do Itapetinga, o Parque Estadual do Itaberaba e o Monumento Natural Estadual da Pedra Grande (Rodrigues et al. 2008). Essa área é classificada como uma floresta semidecidual, porém, as fitofisionomias da região podem incluir também floresta ombrófila densa ou floresta ripária (Veloso 1991). Na nossa região de estudo, os fragmentos são compostos principalmente por remanescentes de floresta secundária. Ao redor dessas florestas, observa-se a presença de agricultura, pastagens, silvicultura, áreas urbanas, mineração e corpos d'água. Além disso, há áreas abandonadas que estão passando por processos naturais de regeneração (Barros et al. 2019).

A região também apresenta relevo montanhoso, com altitudes variando entre 600 e 2000 m. As temperaturas médias variam de $8,6^{\circ}\text{C}$ a $29,5^{\circ}\text{C}$, caracterizando invernos frios e secos e verões quentes e úmidos. A precipitação média anual é de 1500 mm (Oliveira-Filho & Fontes, 2000; Montagnana, Garófalo & Ribeiro, 2018).

O estudo foi conduzido em 13 sítios amostrais, abrangendo um gradiente de cobertura florestal que varia de 5% a 90% e as paisagens foram delimitadas por buffers com raio de 1 km, 2.5 km e 5 km, permitindo investigar a relação entre a fragmentação florestal e as variações morfológicas nas aves (Figura 2).

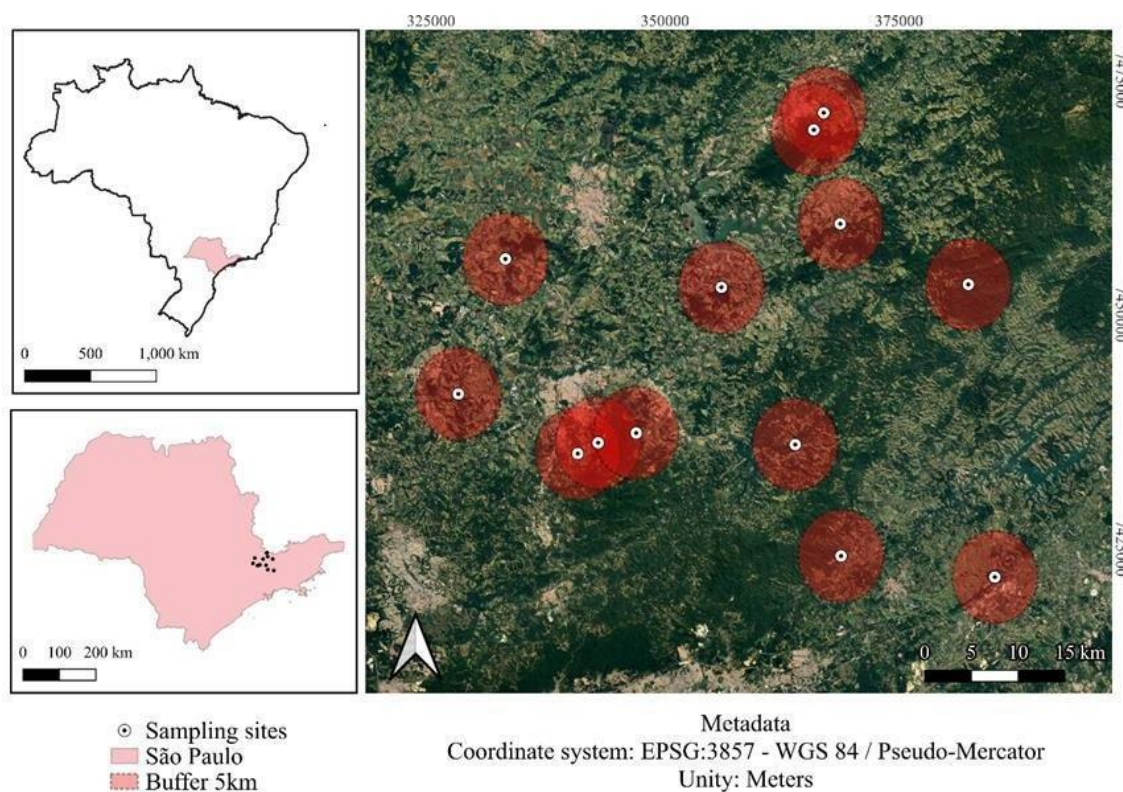


Figura 2. Para o presente estudo, 13 sítios amostrais foram selecionados. Trabalhamos dentro de buffers com raios de 1 km, 2.5 km e 5 km.

2.2 Coleta de dados

2.2.1 Captura de aves e uso de redes de neblina

A comunidade de aves foi amostrada em 2022, durante os meses de outubro, novembro e dezembro. Em 2023, a amostragem ocorreu nos meses de março, abril, outubro e novembro. Foram instaladas dez redes de neblina (12 m x 2,5 m x malha de 20 mm) no interior de cada fragmento totalizando um esforço amostral de 120 metros de rede por dia.

Cada local foi amostrado por dois dias consecutivos, durante 5 horas diárias, com as redes permanecendo abertas desde o nascer do sol até às 11:00 a.m. (UTC -3). Revisões das redes foram realizadas a cada 20 minutos, com variações dependendo das condições climáticas e da taxa de captura.

2.2.2 Seleção das espécies alvo

Durante a amostragem em campo, todas as aves capturadas pelas redes de neblina foram processadas. Para as análises, selecionamos as espécies com o maior número de capturas e ocorrência no maior número de sítios, ou seja, aquelas mais abundantes ao longo do gradiente de cobertura florestal. Assim, as espécies selecionadas foram: barranqueiro-de-olho-branco, chupa-dente, tangará-dançarino e tiê-preto (Figura 3).

2.2.3 Descrição das espécies alvo

A primeira espécie, popularmente conhecida como barranqueiro-de-olho-branco, mede entre 19 e 20 cm e pesa entre 25 e 38 g (Reinert et al., 1996). Ela pertence à família Furnariidae e é um dos barranqueiros endêmicos da Mata Atlântica com a maior distribuição geográfica. Sua ocorrência abrange o nordeste do Brasil, na Bahia, até o sul e leste do Paraguai, além do extremo nordeste da Argentina (Birds of the World, 2024). Sua dieta inclui Coleoptera (como as famílias Erotylidae, Melolonthidae e Chrysomelidae), Formicidae, Orthoptera (Tettigoniidae, Locustidae), Heteroptera, Lepidoptera (adultos e larvas), Homoptera, Hemiptera, Dermaptera, larvas de Neuroptera (Durães; Marini, 2005; Lopes, Fernandes e Marini, 2005), Araneae e pupas de Diptera (Lopes, Fernandes e Marini, 2005; Lima et al., 2010).

A segunda espécie, conhecida como chupa-dente, mede entre 11,5 e 14 cm e pesa entre 16 e 27 g (Reinert et al., 1996). Ela pertence à família Conopophagidae e é encontrada no sub-bosque de florestas úmidas e de galeria no sudeste do Brasil, no leste do Paraguai e no nordeste da Argentina. Também ocorre em florestas mais secas no centro-sul do Brasil (Birds of the World, 2024). Sua dieta é composta principalmente por formigas, coleópteros e aranhas (Lima; Manhães; Piratelli, 2011).

A terceira espécie, o tangará-dançarino, tem os machos medindo 15 cm e as fêmeas 14,5 cm, com um peso médio de 25,6 g (Mallet-Rodrigues; Dutra, 2012). Ela pertence à família Pipridae e é encontrada em florestas úmidas, mata secundária e bordas. Sua distribuição é predominantemente abaixo de 1500 m, mas ocasionalmente pode ser encontrada até 1900 m. É comum no leste do Brasil, especialmente no sul da Bahia e Espírito Santo, onde seu alcance se sobrepõe ao de *C. pareola*. Enquanto esta última espécie é restrita a áreas de baixada, o Tangará dançarino é encontrado nas florestas montanas acima de 500 m (Birds of the World, 2024). Sua dieta consiste principalmente de pequenos frutos e insetos (Reinert et al., 1996).

O quarta espécie, tiê-preto, da família Thraupidae, mede cerca de 16 cm e pesa entre 26 e 33 g (Hilty, 2020). Habita florestas abertas e bordas de mata ao longo da costa atlântica do Brasil, estendendo-se até o oeste do Paraguai e o sul da Argentina (Birds of the World, 2024). Sua dieta inclui artrópodes, frutas e sementes (Hilty, 2020).



Figura 3. Representação das espécies de interesse, sendo: elas A) chupa-dente (*Conopophaga-lineata*); B) tiê-preto (*Tachyphonus coronatus*); C) tangará-dançarino (*Chiroxiphia caudata*) e D) barraqueiro-de-olho-branco (*Automolus leucophthalmus*).

2.2.4 Características morfológicas

Os dados morfométricos das aves foram coletados de acordo com as recomendações do Manual de Anilhamento de Aves (Lugarini et al. 2020). As aves foram pesadas com uma balança digital com precisão de 0,1 g.

O comprimento das asas direita e esquerda foi medido em sua posição natural, ou seja, do ponto de encontro até a ponta da primária mais longa, mantendo a asa em sua posição natural. Para isso, utilizamos duas réguas metálicas (precisão de 0,1 cm), uma de 15 cm e outra de 30 cm, especificamente projetadas para aves (Lugarini et al. 2020).

Medições de caracteres bilaterais foram realizadas, pois a presença de assimetria flutuante pode refletir instabilidade no desenvolvimento, ou seja, a incapacidade do genótipo de produzir um fenótipo previsto em determinado ambiente, podendo ser considerada um marcador de desenvolvimento quando há algum tipo de estresse (Clarke et al. 1995; Parsons, 1992).

Além disso, medimos a altura, largura, comprimento do bico e o culmen (medida da ponta do bico até sua inserção no crânio), bem como os tarsos direito e esquerdo de cada ave, utilizando um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm e precisão de 0,02 mm (Lugarini et al. 2020). Todas as medições foram realizadas três vezes em cada indivíduo para estimar a repetibilidade das amostras e possíveis erros de medição (Lessell & Boags, 1987).

2.2.5 Espécimes de museu

As mesmas espécies medidas em campo também foram medidas no Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP).

Para as análises, utilizamos apenas peles que foram coletadas no estado de São Paulo e a partir da década de 1980, pois antes disso se problemas temporais relacionados a mudanças na cobertura vegetal. Comparamos os indivíduos ao longo dos anos para verificar se havia assimetria flutuante nas asas e tarsos e diferenças na morfologia do bico dentro de cada espécie em relação às métricas da paisagem (cobertura florestal e conectividade funcional). Para isso, os indivíduos foram agrupados e selecionamos apenas os anos em que mais de quatro indivíduos foram coletados e que apresentavam anos consecutivos de amostragem.

2.2.6 Análises estatísticas

A assimetria flutuante de cada característica foi inicialmente calculada para cada indivíduo (FA_i) utilizando a seguinte fórmula:

$$FA_i = (R-L) / [(R+L) / 2]$$

Onde R refere-se à média das três medições do lado direito das asas e tarsos, e L refere-se à média das medições do lado esquerdo (Palmer & Strobeck 1986, 1992; Evans, Martins & Haley 1995; Sarre 1996; Anciães & Marini 2000). Utilizamos a média das três medições como valor final para cada indivíduo. Estimativas de repetibilidade são úteis em diversas áreas da ecologia e evolução, sendo obtidas a partir de medições repetidas em vários indivíduos (Lessells & Boag, 1987).

Para testar a hipótese de que as variáveis explicativas influenciam a assimetria e morfologia das aves, ajustamos modelos de regressão linear utilizando métricas da paisagem como variáveis preditoras, especificamente a cobertura florestal (%) e a conectividade funcional (ha), tendo a assimetria flutuante como variável resposta (Mohr et al., 2022). A cobertura florestal foi calculada utilizando dados do mapa do Inventário Florestal dentro dos limites de São Paulo e Minas Gerais, obtidos do MapBiomias.

A escolha entre os modelos baseou-se na adequação dos dados a cada relação esperada, garantindo que padrões não lineares fossem detectados, se presentes. Além disso, trabalhamos com diferentes escalas espaciais para avaliar a robustez das análises, selecionando os melhores modelos com base em critérios estatísticos apropriados. Essa abordagem permitiu uma avaliação abrangente dos efeitos da paisagem na variação morfológica das espécies estudadas.

Para avaliar a relação entre cobertura florestal, assimetria flutuante e a morfologia do bico, utilizamos três escalas da paisagem: 1 km, 2,5 km e 5 km, seguindo abordagens empregadas em estudos anteriores que analisaram a influência da fragmentação sobre a ecologia de aves (Brandt et al., 2009; Boscolo & Metzger, 2009). Brandt et al. (2009) utilizaram buffers de 1 km, 2,5 km e 5 km para investigar a composição de bandos mistos de aves em fragmentos florestais, demonstrando que diferentes escalas espaciais podem revelar padrões distintos na resposta das espécies à cobertura florestal. De forma semelhante, Boscolo e Metzger (2009) analisaram a influência da estrutura da paisagem sobre a riqueza de aves em fragmentos da Mata Atlântica, destacando a importância da consideração de múltiplas escalas na avaliação dos efeitos da fragmentação.

Além disso para a conectividade funcional, utilizamos a teoria dos grafos disponível no programa LSMetrics desenvolvido pelo LEEC/UNESP para calcular a conectividade funcional seguindo o mesmo método utilizado por Martensen et al. (2012). Nesse método, definimos a distância em que duas manchas de vegetação florestal estariam funcionalmente conectadas (p.ex. 50, 100 ou 150 m), e a conectividade funcional corresponderá à soma das áreas (ha) que podem ser acessadas por uma espécie a partir do ponto de coleta dos indivíduos.

Testamos diferentes combinações de escalas de cobertura florestal e conectividade funcional em relação à assimetria flutuante e selecionamos a escala que apresentou o maior valor de *R*. Por fim, construímos Modelos Lineares Generalizados Mistos (*GLMM*), utilizando a identificação da paisagem como um fator aleatório (Zuur et al., 2009).

3. RESULTADOS

Em campo, um total de 233 indivíduos de 45 espécies diferentes foram capturados e medidos. Para as espécies alvo foram medidos 54 indivíduos, sendo eles: 11 barraqueiros-de-olho-branco (*Automolus leucophthalmus*), 20 chupa-dente (*Conopophaga lineata*), 10 tangará-dançarino (*Chiroxiphia caudata*) e 13 tiê-preto (*Tachyphonus coronatus*) com um esforço amostral total de 125 horas ou 1.250 horas de rede, correspondendo a 3.120 metros de rede.

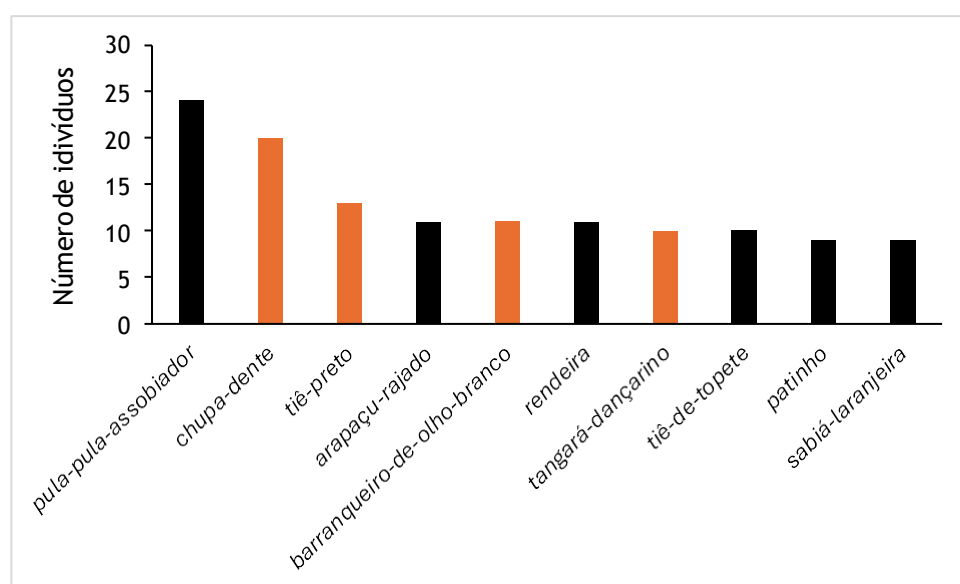


Figura 4. Relação entre as dez espécies mais capturadas (em laranja as espécies alvo e em preto as demais espécies). Embora as espécies pula-pula-assobiador, arapaçu-rajado e rendeira tenham sido capturados em maior número de indivíduos não foram as espécies mais abundantes ao longo do gradiente de cobertura florestal.

No Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP), foram medidos 653 indivíduos das quatro espécies, incluindo 76 barraqueiros-de-olho-branco, 262 tangará-dançarino, 140 chupa-dente e 175 tiê-preto. As medições foram realizadas entre os dias 16 a 29 de fevereiro de 2024 na Coleção de Aves do MZUSP (Figura 5).

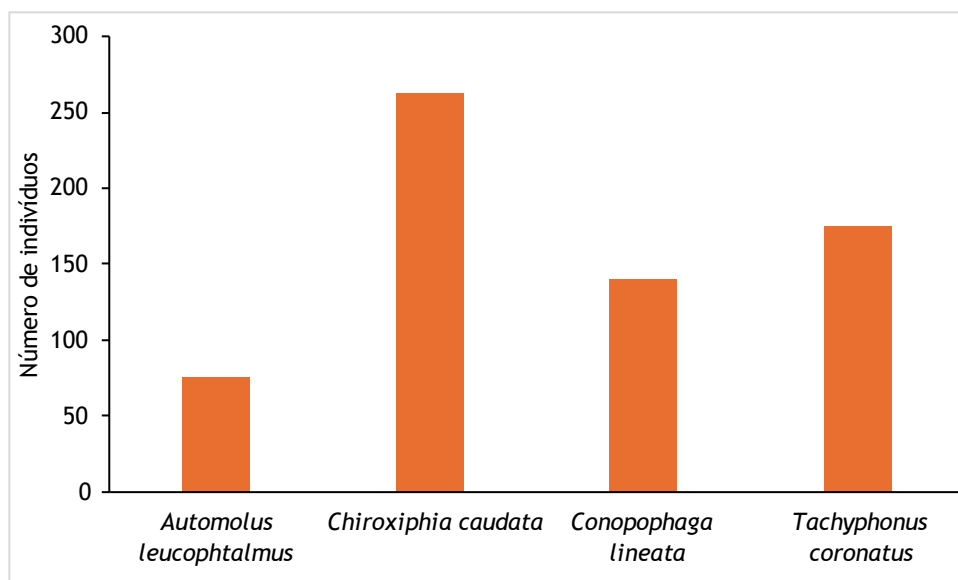


Figura 5. Relação entre o número de indivíduos de barranqueiro-de-olho-branco (*Automolus leucophthalmus*), chupa-dente (*Conopophaga lineata*), tangará-dançarino (*Chiroxiphia caudata*) e tiê-preto (*Tachyphonus coronatus*) medidos no museu.

Somando os esforços de campo e museu, obtivemos resultados significativos para a espécie chupa-dente em duas medidas do bico: (1) comprimento do culmen, que apresentou relação com a cobertura florestal em um raio de 1 km ($p = 0,048$), e (2) altura do bico, também associada à cobertura vegetal no mesmo raio ($p = 0,028$). Nossos achados indicam que indivíduos dessa espécie possuem bicos menores em áreas com maior cobertura florestal. Além disso, encontramos uma relação significativa entre a diferença de comprimento dos tarsos direito e esquerdo e a cobertura florestal em um raio de 2,5 km ($p = 0,028$), evidenciando menor assimetria dos tarsos em locais com maior cobertura florestal. Para as demais espécies analisadas — barranqueiro-de-olho-branco, tangará-dançarino e tiê-preto — não identificamos associações significativas entre as variáveis morfométricas e as variáveis de paisagem (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados obtidos a partir das análises de GLMM indicam que a variável resposta corresponde às medições realizadas em campo. As variáveis preditoras variam conforme a escala utilizada, com modelos ajustados para cada análise. O R²m representa a variância explicada apenas pelos efeitos fixos, enquanto o R²c inclui também os efeitos aleatórios. A Estimativa mostra o efeito do preditor sobre a variável resposta, e o Erro Padrão indica a incerteza dessa estimativa. O t-valor testa a significância do efeito no modelo.

Conopophaga lineata							
Medidas	Variáveis	R2m	R2c	Estimate	St. Error	t value	P
Comprimento da asa	cobertura florestal 2.5km	0.120	0.220	0.028	0.042	0.658	0.519
	conectividade funcional 50			-7.774	4.375	-1.777	0.092
Diferença entre as asas	cobertura florestal 5 km	0.038	0.226	0.011	0.009	1.197	0.255
	conectividade funcional 150			-1.244	0.925	-1.345	0.204
Diferença entre os tarsos	cobertura florestal 2.5km	0.057	0.057	-0.002	0.001	-2.026	0.046*
	conectividade funcional 50			0.002	0.129	1.737	0.0871.
Média do culmen	cobertura florestal 1 km	0.147	0.346	-0.014	0.006	-2.230	0.048*
	conectividade funcional 50			0.945	0.668	1.415	0.183
Média da narina até a ponta do bico	cobertura florestal 2.5km	0.052	0.204	-0.022	0.014	-1.590	0.137
	conectividade funcional 100			2.229	1.434	1.554	0.144
Média da largura do bico	cobertura florestal 5 km	26	0.650	0.004	0.014	0.343	0.734
	conectividade funcional 150			-0.872	1.353	-0.645	0.525
Média da altura do bico	cobertura florestal 1 km	0.099	0.156	-0.004	0.001	-2.452	0.028*
	conectividade funcional 50			0.252	0.173	1.455	0.173
Automolus leucophthalmus							
Medidas	Variáveis	R2m	R2c	Estimate	Std. Error	t value	P
Comprimento da asa	cobertura florestal 2.5km	0.006	0.087	-0.072	0.189	-0.382	0.706
	conectividade funcional 150			5.759	18.717	0.308	0.761
Diferença entre as asas	cobertura florestal 5 km	0.044	0.281	0.001	0.007	0.229	0.822
	conectividade funcional100			-0.381	0.697	0.548	0.590
Diferença entre os tarsos	cobertura florestal 5 km	0.134	0.199	0.006	0.003	1.952	0.065
	conectividade funcional 100			-0.692	0.355	-1.942	0.065
Média do culmen	cobertura florestal 5 km	0.053	0.267	-0.070	0.086	-0.816	0.414
	conectividade funcional 150			8.974	8.627	1.040	0.321
Média da narina até a ponta do bico	cobertura florestal 1 km	0.052	154	-0.001	0.020	-0.070	0.945
	conectividade funcional 150			1.335	2.090	0.639	0.529
Média da largura do bico	cobertura florestal 1 km	0.131	0.371	0.004	0.026	0.181	0.859
	conectividade funcional 50			-2.159	2.572	-0.839	0.412
Média da altura do bico	cobertura florestal 5 km	0.036	0.036	-0.014	0.015	-0.968	0.343
	conectividade funcional 100			1.430	1.527	0.937	0.359

Chiroxiphia caudata							
Medidas	Variáveis	R2m	R2c	Estimate	St. Error	t value	P
Comprimento da asa	cobertura florestal 5 km	0.045	0.045	0.016	0.070	0.229	0.820
	conectividade funcional 50			-5.167	6.323	-0.817	0.417
Diferença entre as asas	cobertura florestal 2.5km	0.010	0.010	0.002	0.004	0.692	0.491
	conectividade funcional 50			-0.320	0.395	-0.810	0.421
Diferença entre os tarsos	cobertura florestal 2.5km	0.018	0.018	6.852	4.018	0.171	0.865
	conectividade funcional 150			1.051	3.910	0.269	0.789
Média do culmen	cobertura florestal 1 km	0.040	0.207	0.002	0.008	0.308	0.760
	conectividade funcional 50			0.473	0.473	0.614	0.543
Média da narina até a ponta do bico	cobertura florestal 1 km	0.031	0.031	-0.004	0.003	-1.386	0.171
	conectividade funcional 100			0.427	0.318	1.345	0.183
Média da largura do bico	cobertura florestal 5 km	0.037	0.136	-0.000	0.011	-0.042	0.967
	conectividade funcional 150			-0.481	1.054	-0.457	0.654
Média da altura do bico	cobertura florestal km	0.011	0.215	0.001	0.003	0.447	0.658
	conectividade funcional 150			0.001	0.377	0.004	0.997
Tachyphonus coronatus							
Medidas	Variáveis	R2m	R2c	Estimate	St. Error	t value	P
Comprimento da asa	cobertura florestal 1 km	0.029	0.029	-0.018	0.034	-0.550	0.585 0.770
	conectividade funcional 50			-1.007	3.431	-0.294	
Diferença entre as asas	cobertura florestal 5 km	0.059	0.646	0.006	0.010	0.582	0.567 0.302
	conectividade funcional 50			-1.094	1.036	-1.055	
Diferença entre os tarsos	cobertura florestal 5 km	0.074	0.411	0.002	0.001	1.078	0.292 0.145
	conectividade funcional 100			-0.282	0.187	-1.507	
Média do culmen	cobertura florestal 2.5km	0.022	0.022	0.008	0.010	0.843	0.404 0.594
	conectividade funcional 100			-0.586	1.091	-0.537	
Média da narina até a ponta do bico	cobertura florestal 5 km	0.029	0.603	0.011	0.012	0.964	0.349 0.300
	conectividade funcional 100			-1.279	1.194	-1.071	
Média da largura do bico	cobertura florestal 1 km	0.066	0.856	-0.003	0.007	-0.427	0.674 0.563
	conectividade funcional 100			-0.464	0.791	-0.588	
Média da altura do bico	cobertura florestal 1 km	0.038	0.454	1.435	3.633	0.004	0.997 0.464
	conectividade funcional 150			-2834	3.782	-0.749	

4. DISCUSSÃO

Confirmando nossa hipótese, nossos resultados indicam que o chupa-dente apresenta uma relação significativa entre a assimetria flutuante dos tarsos e a cobertura florestal. Encontramos diferenças significativas entre os tarsos direito e esquerdo, evidenciando que, em áreas com menor cobertura florestal, os indivíduos apresentaram tarsos mais assimétricos. Este padrão é consistente com os achados de Anciães & Marini (2000), que documentaram aumento significativo na assimetria flutuante em passeriformes na Mata Atlântica, em resposta à fragmentação florestal. Nossos resultados sugerem que a redução da cobertura florestal impacta negativamente o desenvolvimento morfológico do chupa-dente, possivelmente devido ao aumento das condições de estresse

ambiental em ambientes mais fragmentados assim como os achados de Anciães e Marini, 2000).

Além disso, nossos resultados são compatíveis com os achados de outros estudos que sugerem que a assimetria flutuante pode ser uma resposta adaptativa à degradação ambiental. No Cerrado brasileiro, soldadinho (*Antilophia galeata*) e canário-do-mato (*Myiothlypis flaveola*) mostraram maior assimetria flutuante nas asas em áreas de alto estresse ambiental (Lopes et al., 2020). Já Toutinegra-de-cabeça-preta (*Sylvia melanocephala*), em áreas recentemente queimadas na região mediterrânea da Catalunha, Espanha, dentro do bioma mediterrâneo apresentou maior assimetria nas penas da cauda, indicando que distúrbios ambientais podem afetar o desenvolvimento de estruturas morfológicas (Camprodon et al., 2001). Isso demonstra que diferentes traços morfológicos podem responder de forma diferenciada à qualidade do habitat, com a assimetria flutuante refletindo a instabilidade ambiental.

Em relação à fragmentação florestal, os resultados obtidos estão alinhados com estudos que associam a maior assimetria flutuante em aves à redução da cobertura vegetal. Em florestas tropicais brasileiras, foi relatado um aumento da assimetria flutuante em passeriformes à medida que a cobertura florestal diminui (Anciães & Marini, 2000).

Padrões semelhantes foram identificados nos Andes colombianos, onde fragmentos menores e mais degradados apresentam níveis mais elevados de assimetria flutuante, sugerindo impactos da fragmentação sobre o desenvolvimento morfológico das aves (Rasmussen et al., 2008). Em ecossistemas afrotropicais, observou-se um aumento expressivo na assimetria flutuante dos tarsos em espécies florestais que habitam fragmentos mais degradados (Cárcamo et al., 2010). Além das diferenças observadas nos tarsos do chupa-dente, nossos resultados também indicam que a cobertura florestal afeta outras características morfológicas da espécie, como o comprimento do culmen e a altura do bico. Encontramos relações significativas entre a cobertura florestal e o comprimento do culmen, e entre a cobertura florestal e a altura do bico, sugerindo que indivíduos em áreas com maior cobertura florestal possuem bicos menores. Esses achados complementam a análise da assimetria flutuante nos tarsos, indicando que, em ambientes mais preservados, os indivíduos de chupa-dente tendem a ter um desenvolvimento morfológico mais estável (Anciães & Marini, 2000; Camprodon et al., 2001; Lopes et al., 2020).

Essas variações morfológicas observadas no chupa-dente são consistentes com a literatura que sugere que mudanças morfológicas podem ser respostas adaptativas a

condições ambientais variadas, como a fragmentação de habitats e mudanças climáticas. Estudos anteriores indicam que tais variações podem ocorrer em resposta a alterações ambientais, não apenas em aves (Campbell-Tennant et al., 2015; Miller et al., 2018; Onley et al., 2020; Subasinghe, 2022), mas também em mamíferos (Warrington & Waterman, 2023; Yom-Tov & Yom-Tov, 2005; Yue et al., 2019), incluindo modificações no tamanho das patas e orelhas.

Uma revisão de Tattersall et al. (2017) demonstrou que 58% das 110 espécies de aves analisadas seguem a regra de Allen em relação ao tamanho do bico, o que pode se refletir no chupa-dente na forma como o tamanho do bico varia em função da cobertura florestal. A relação entre o tamanho do bico e fatores ambientais, como a temperatura, também tem sido apontada em outras pesquisas. Em papagaios australianos, por exemplo, foi identificado um aumento da superfície do bico associado a temperaturas mais elevadas (Campbell-Tennant et al., 2015). De forma semelhante, variações extremas de temperatura em ambientes frios foram associadas ao tamanho do bico do junco-comum (*Junco hyemalis*), indicando que eventos climáticos podem influenciar a morfologia das aves, além das tendências de aquecimento global (LaBarbera et al., 2020).

Mudanças morfológicas também têm sido documentadas em aves amazônicas, possivelmente como uma resposta às mudanças climáticas. Stouffer et al. (2021) encontraram reduções na massa corporal e aumento no comprimento das asas em várias espécies de aves da Amazônia, sugerindo uma adaptação às temperaturas mais altas. Essas transformações podem ser paralelamente observadas no chupa-dente, onde as mudanças no tamanho do bico e nas assimetrias flutuantes podem estar relacionadas a alterações climáticas ou à fragmentação do habitat.

A dieta pode também estar relacionada a essas variações morfológicas no bico, estudos dietéticos na região de Sergipe indicam que a alimentação dessa espécie é composta principalmente por formigas, besouros e aranhas (Lima et al., 2011), enquanto outras pesquisas na mesma área registraram predominância de Formicidae e Isoptera, além de menores quantidades de Coleoptera, larvas de insetos e Araneae (Manhães & Dias, 2015). Estudos em Minas Gerais também revelaram o consumo de sementes, Diptera, larvas de Lepidoptera, Hymenoptera, baratas, escorpiões, pseudoescorpiões, Neuroptera, Hemiptera e Trichoptera (Lopes & Marini, 2005; Lima et al., 2010). A disponibilidade de alimento e o habitat de forrageio podem, portanto, levar à seleção de indivíduos com bicos menores (Schluter & Smith, 1986; Grant & Grant, 2002).

Para o tangará-dançarino, não encontramos relação entre as variáveis morfológicas e as variáveis de paisagem. Uma possível justificativa para isso é que a conectividade entre fragmentos florestais é essencial para a movimentação da espécie, uma vez que corredores de vegetação ou manchas arbóreas aumentam as chances de deslocamento bem-sucedido entre áreas isoladas (Sick, 1997). No entanto, a movimentação da espécie é limitada por seu comportamento territorial, especialmente entre os machos adultos, que mantêm *leks* fixos e são menos propensos a cruzar matrizes do que as fêmeas ou indivíduos jovens, que apresentam maior flexibilidade no uso do espaço (Sick, 1997). Essa estrutura social e comportamental impede que os machos se desloquem para novas áreas de forma tão eficiente quanto as fêmeas, o que pode influenciar negativamente a dispersão genética e a viabilidade das populações em fragmentos florestais isolados (Sick, 1997).

Para o barranqueiro-de-olho-branco, Barbosa observou que, apesar de a espécie ser capaz de atravessar áreas abertas de até 75 metros, sua abundância é consideravelmente reduzida em fragmentos pequenos e isolados, indicando que a conectividade entre os remanescentes florestais é crucial para a manutenção de suas populações (Barbosa, 2010). A ausência de conectividade entre fragmentos florestais tem sido associada à ocorrência de extinções locais de aves em regiões de Mata Atlântica em Minas Gerais, especialmente em função da dificuldade de deslocamento entre os fragmentos e da carência de corredores ecológicos (Pimentel, 2003). Esses fatores limitam a dispersão e a troca genética entre populações, aumentando a vulnerabilidade de espécies como barranqueiro-de-olho-branco a declínios populacionais.

Já para o tiê-preto, a ausência de uma relação significativa entre as variáveis morfológicas e as variáveis de paisagem pode ser explicada por diversos fatores ecológicos e comportamentais. A fragmentação florestal limita a conectividade entre remanescentes florestais, dificultando a movimentação da espécie entre fragmentos isolados. A falta de corredores ecológicos adequados impede o deslocamento eficiente entre as populações, reduzindo as oportunidades de cruzamento e troca genética (Ferreira, 2009). Além disso, o comportamento territorial dos indivíduos, particularmente dos machos, pode restringir a dispersão, já que eles mantêm territórios definidos, dificultando ainda mais a movimentação entre fragmentos (Delfino, 2015). Dessa forma, a combinação desses fatores pode explicar a dificuldade da espécie em cruzar matrizes e a ausência de mudanças morfológicas associadas à fragmentação do habitat.

5. CONCLUSÃO

Em resumo, nossos resultados demonstram que o desenvolvimento morfológico do chupa-dente (*Conopophaga lineata*) é sensivelmente afetado pela cobertura florestal. A assimetria flutuante nos tarsos foi significativamente maior em áreas com menor cobertura, evidenciando que indivíduos em ambientes mais degradados apresentam maior instabilidade durante o desenvolvimento. Além disso, observamos uma relação entre a cobertura florestal e características do bico — como comprimento do culmen e altura — indicando que alterações morfológicas podem ocorrer mesmo em traços tradicionalmente menos associados ao estresse ambiental.

As descobertas da nossa pesquisa, revelam que a fragmentação e a degradação florestal, além de serem reconhecidamente responsáveis pela perda de biodiversidade, também podem gerar impactos silenciosos, atingindo mesmo espécies consideradas generalistas e resistentes a distúrbios ambientais. Nossos resultados sugerem que tais espécies podem estar sendo afetadas de forma indireta e menos perceptível, por meio de alterações morfológicas associadas ao estresse do habitat.

Nossos achados revelam que a fragmentação e a degradação florestal, além de sua já conhecida relação com a perda de biodiversidade, também provocam impactos sutis e silenciosos. Mesmo espécies consideradas generalistas e aparentemente tolerantes a distúrbios ambientais, como o chupa-dente, podem ser afetadas de maneira indireta. Nossos resultados indicam que essa espécie, apesar de sua ampla distribuição e hábitos relativamente flexíveis, apresenta sinais morfológicos de estresse em ambientes mais fragmentados. Isso evidencia que a estabilidade do desenvolvimento pode ser comprometida mesmo na ausência de efeitos demográficos imediatos, ressaltando a importância de avaliar indicadores sensíveis, como a assimetria flutuante, para detectar impactos ocultos da degradação do habitat.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, Andrew P.; O'CONNOR, Raymond J. Interactive effects of land use and other factors on regional bird distributions. **Journal of Biogeography**, v. 27, n. 4, p. 889-900, 2000.

ALLEN, Joel Asaph. The influence of physical conditions in the genesis of species. **Radical review**, v. 1, p. 108-140, 1877.

ALVES DE SOUZA, Antonio Emanuel Barreto; SERAFINI, Patricia Pereira. Técnica de captura de aves. In: Antonio Emanuel Barreto Alves de Souza; Patricia Pereira Serafini, **3º Manual de Anilhamento de Aves Silvestres**. ICMBio, CEMAVE, p. 13-25, 2020.

ANCIÃES, Marina; MARINI, M. A. The effects of fragmentation on fluctuating asymmetry in passerine birds of Brazilian tropical forests. **Journal of Applied Ecology**, v. 37, n. 6, p. 1013-1028, 2000.

ANTUNES, Alexsander Z. Alterações na composição da comunidade de aves ao longo do tempo em um fragmento florestal no sudeste do Brasil. **Ararajuba**, v. 13, n. 1, p. 47-61, 2005.

BARBOSA, A. M. Efeito do tipo de matriz e da proximidade de remanescentes florestais no uso de pequenos fragmentos pela avifauna do Corredor Cantareira-Mantiqueira. 2010. Disponível em: <https://www.escas.org.br>.

BARROS, Fabio M. et al. Matrix type and landscape attributes modulate avian taxonomic and functional spillover across habitat boundaries in the Brazilian Atlantic Forest. **Oikos**, v. 128, n. 11, p. 1600- 1612, 2019.

BERGMANN, Carl. **Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse**. Vandenhoeck und Ruprecht, 1848.

BICUDO, T.; ANCIÃES, M.; BENCHIMOL, M.; PERES, C. A.; SIMÕES, P. I. Insularization effects on acoustic signals of 2 suboscine Amazonian birds. **Behavioral Ecology**, v. 27, n. 5, p. 1480–1490, 2016.

BORDA-NIÑO, M.; MELI, P.; BRANCALION, P. H. S. Drivers of tropical forest cover increase: A systematic review. **Land Degradation and Development**, v. 31, n. 11, p. 1366–1379, 2020.

BOSCOLO, D.; METZGER, J. P. Is bird incidence in Atlantic Forest fragments influenced by landscape patterns at multiple scales? 2009. Artigo científico. **Landscape Ecology**, v. 24, n. 7, p. 907–918.

BOSSE, M.; SPURGIN, L. G.; LAINE, V. N.; COLE, E. F.; FIRTH, J. A.; GIENAPP, P.; GOSLER, A. G.; McMAHON, K.; POISSANT, J.; VERHAGEN, I.; GROENEN, M. A. M.; VAN OERS, K.; SHELDON, B. C.; VISSER, M. E.; SLATE, J. Recent natural selection causes adaptive evolution of an avian polygenic trait. **Science**, 2017.

BRANDT, C. S.; HASENACK, H.; LAPS, R. R.; HARTZ, S. M. Composition of mixed-species bird flocks in forest fragments of southern Brazil. 2009. Artigo científico. **Zoologia**, v. 26, n. 3, p. 488–498.

BREGMAN, Tom P. et al. Using avian functional traits to assess the impact of land-cover change on ecosystem processes linked to resilience in tropical forests. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1844, p. 20161289, 2016.

BUTCHART, Stuart HM et al. Global biodiversity: indicators of recent declines. **Science**, v. 328, n. 5982, p. 1164-1168, 2010.

CAMPBELL-TENNANT, Daniel JE et al. Climate-related spatial and temporal variation in beak morphology over the past century in Australian parrots. **Journal of Biogeography**, v. 42, n. 6, p. 1163-1175, 2015.

CARLO, Tomás A.; MORALES, Juan M. Generalist birds promote tropical forest regeneration and increase plant diversity via rare-biased seed dispersal. **Ecology**, v. 97, n. 7, p. 1819-1831, 2016.

CÁRCAMO, Héctor A. et al. Developmental instability in a stem-mining sawfly: can fluctuating asymmetry detect plant host stress in a model system?. **Oecologia**, v. 156, p. 505-513, 2008.

CÁRCAMO, S.; JARVIS, S.; EYRE, J.; JAMES, R. Fluctuating asymmetry increases with habitat disturbance in seven bird species of a fragmented Afrotropical forest. **Biological Conservation**, v. 143, n. 1, p. 212-220, 2010.

CAMPRODON, J.; BROTONS, L.; MARTÍNEZ-VILALTA, J. Fluctuating asymmetry in Sardinian Warblers *Sylvia melanocephala* inhabiting two shrublands affected by fire. **Ardeola**, v. 48, n. 2, p. 189-202, 2001.

CASIMIRO, P. C. Conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. **Revista portuguesa de estudos regionais**, n. 20, p. 75–99, 2009.

CARVALHO NETO, Francisco Geraldo de. Ecology, fluctuating asymmetry, and sexual dimorphism in small mammals in Atlantic Forest remnants in Northeastern Brazil. **Master's Dissertation, Federal University of Pernambuco**, 2013.

CLARKE, Geoffrey M. Relationships between developmental stability and fitness: application for conservation biology. **Conservation biology**, v. 9, n. 1, p. 18-24, 1995.

CEBALLOS, Gerardo et al. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Science advances**, v. 1, n. 5, p. e1400253, 2015.

CHASE, Jonathan M. et al. Ecosystem decay exacerbates biodiversity loss with habitat loss. **Nature**, v. 584, n. 7820, p. 238-243, 2020.

CLARKE, Geoffrey M. Relationships between developmental stability and fitness: application for conservation biology. **Conservation biology**, v. 9, n. 1, p. 18-24, 1995.

CORSINI, M.; SCHÖLL, E. M.; DI LECCE, I.; CHATELAIN, M.; DUBIEC, A.; SZULKIN, M. Growing in the city: urban evolutionary ecology of avian growth rates. **Evolutionary Applications**, v. 14, n. 1, p. 69–84, 2021.

DELFINO, L. S. Influência de corredor florestal sobre a avifauna da Mata Atlântica. 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br>.

DÍAZ-SIEFER, P.; OLMOS-MOYA, N.; FONTÚRBEL, F. E. et al. Bird-mediated effects of pest control services on crop productivity: a global synthesis. **Journal of Pest Science**, v. 95, p. 567–576, 2022.

DURÃES, R.; MARINI, M. Â. A quantitative assessment of bird diets in the Brazilian Atlantic Forest, with recommendations for future diet studies. 2005. Journal article. **Ornitologia Neotropical**, v. 16, n. 1, p. 65–83.

ELLEGREN, Hans; SHELDON, Ben C. Genetic basis of fitness differences in natural populations. **Nature**, v. 452, n. 7184, p. 169-175, 2008.

EVANS, Matthew R.; MARTINS, Thais LF; HALEY, Michael P. Inter-and intra-sexual patterns of fluctuating asymmetry in the red-beaked streamertail: should symmetry always increase with ornament size? **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 37, n. 1, p. 15-23, 1995.

FAHRIG, L.; MERRIAM, G. Habitat Patch Connectivity and Population Survival Author(s): Lenore Fahrig and Gray Merriam Reviewed work (s) HABITAT PATCH CONNECTIVITY AND POPULATION SURVIVAL'. **Source: Ecology**, v. 66, n. 6, p. 1762–1768, 1985.

FAHRIG, Lenore. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 34, n. 1, p. 487-515, 2003.

FAHRIG, Lenore et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. **Ecology letters**, v. 14, n. 2, p. 101-112, 2011.

FERREIRA, J. P. Aves e efeitos da fragmentação em um remanescente florestal no estado do Espírito Santo. 2009. Disponível em: <https://repositorio.mcti.gov.br>.

FULLER, R. A.; WARREN, P. H.; GASTON, K. J. Daytime noise predicts nocturnal singing in urban robins. **Biology Letters**, v. 3, n. 4, p. 368–370, 2007

GRANT, Peter R.; GRANT, B. Rosemary. Unpredictable evolution in a 30-year study of Darwin's finches. **Science**, v. 296, n. 5568, p. 707-711, 2002.

GRANT, Peter R.; GRANT, B. Rosemary. Evolution of character displacement in Darwin's finches. **Science**, v. 313, n. 5784, p. 224-226, 2006.

GALETTI, M. et al.. Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. – **Science**, 340: 1086–1090, 2013.

HAGEN, Melanie et al. Biodiversity, species interactions and ecological networks in a fragmented world. In: **Advances in ecological research**. Academic Press, 2012. p. 89-210.

HILTY, S. Ruby-crowned Tanager (*Tachyphonus coronatus*), version 1.0. In **Birds of the World** (J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D. A. Christie, and E. de Juana, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020.

HOPTON, Matthew E. et al. Live animal radiography to measure developmental instability in populations of small mammals after a natural disaster. **ecological indicators**, v. 9, n. 5, p. 883-891, 2009.

HORTAL, Joaquín et al. Historical bias in biodiversity inventories affects the observed environmental niche of the species. **Oikos**, v. 117, n. 6, p. 847-858, 2008.

LABARBERA, Katie et al. Context-dependent effects of relative temperature extremes on beak morphology in a songbird. **Royal Society open science**, v. 7, n. 4, p. 192203, 2020.

LENS, L.; VAN DONGEN, S.; WILDERMUTH, T.; SCHENCK, T. Fluctuating asymmetry as an early warning system in the critically endangered Taita Thrush. **Conservation Biology**, v. 13, n. 2, p. 467-476, 1999.

LEARY, Robb F.; ALLENDORF, Fred W. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress: implications for conservation biology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 4, n. 7, p. 214-217, 1989.

LESSELLS, C. M.; BOAG, Peter T. Unrepeatable repeatabilities: a common mistake. **The Auk**, v. 104, n. 1, p. 116-121, 1987.

LIMA, Cássia Alves et al. Dieta de aves da Mata Atlântica: uma abordagem baseada em conteúdos estomacais. **Ornitol Neotrop**, v. 21, p. 425-438, 2010.

LIMA, A. L. C.; MANHÃES, M. A.; PIRATELLI, A. J. Ecologia trófica de *Conopophaga lineata* (Conopophagidae) em uma área de mata secundária no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 19, n. 3, p. 315-322, 2011.

LINS, Anna Carolina Ramalho. Body condition and fluctuating asymmetry of lizards in continuous and fragmented Cerrado areas at Serra da Mesa Hydroelectric Plant, Minaçu, GO. **Master's Dissertation, University of Brasília**, 2013.

LUGARINI, Camile; SERAFINI, Patricia Pereira; ALVES DE SOUZA, Antonio Emanuel Barreto. Coleta de Dados. In: Antonio Emanuel Barreto Alves de Souza; Patricia Pereira Serafini, **3º Manual de Anilhamento de Aves Silvestres**. ICMBio, CEMAVE, p. 31-41, 2020.

LOPES, L. E.; FERNANDES, A. M.; MARINI, M. Â. Dieta de algumas aves da Mata Atlântica. 2005. Artigo científico. **Ararajuba**, v. 13, p. 95–103.

LOPES, L. E.; LOPES, J. B.; MACIEL, N. M.; DEL HOYO, J. Environmental stress and fluctuating asymmetry in *Antilophia galeata*, *Myiothlypis flaveola* and *Basileuterus culicivorus* in Brazilian savanna. **Ornitología Neotropical**, v. 31, p. 85-98, 2020.

LOMÔNACO, Cecília; GERMANOS, Érika. Variações fenotípicas em *Musca domestica* L.(Diptera: Muscidae) em resposta à competição larval por alimento. **Neotropical Entomology**, v. 30, p. 223-231, 2001.

LOPES, Leonardo Esteves; FERNANDES, Alexandre Mendes; MARINI, Miguel Ângelo. Diet of some Atlantic Forest birds. **Ararajuba**, v. 13, n. 1, p. 95-103, 2005.

MAGNAGO, Luiz Fernando Silva et al. Microclimatic conditions at forest edges have significant impacts on vegetation structure in large Atlantic forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, p. 2305-2318, 2015.

MALLET-RODRIGUES, F.; DUTRA, R. S. Aquisição da plumagem adulta definitiva em machos de Blue Manakins (*Chiroxiphia caudata*). 2012. Artigo científico. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 20, n. 4, p. 315–322.

MANHÃES, M. A.; DIAS, M. M.; LIMA, A. L. C. Feeding resource partitioning between two understory insectivorous birds in a fragment of Neotropical cloud forest. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4 Suppl 1, p. 176-183, 2015.

MAYR, Ernst. Geographical character gradients and climatic adaptation. **Evolution**, v. 10, n. 1, p. 105-108, 1956.

METZGER, Jean Paul et al. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic Forest region. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1166-1177, 2009.

MILLER, Colleen R.; LATIMER, Christopher E.; ZUCKERBERG, Benjamin. Beak size variation in northern cardinals associated with anthropogenic drivers across North America. **Ecology and evolution**, v. 8, n. 10, p. 4841-4851, 2018.

MOLLER, Anders Pape; SWADDLE, John P. **Asymmetry, developmental stability and evolution**. Oxford University Press, UK, 1997.

MONTAGNANA, Paula Carolina; GARÓFALO, Carlos Alberto; RIBEIRO, Milton Cezar. Efeitos-multi escala da quantidade de habitat e heterogeneidade da paisagem sobre comunidade de abelhas. 2018.

MOHR, D. L.; WILSON, W.J.; FREUND, R.J. Linear regression. **Statistical Methods**, p.301-349, 2022.

MOLLER, Anders Pape. Patterns of fluctuating asymmetry in sexual ornaments predict female choice. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 6, n. 4, p. 481-491, 1993.

MOLLER, Anders Pape; SWADDLE, John P. **Asymmetry, developmental stability and evolution**. Oxford University Press, UK, 1997.

MICHEL, Nicole L.; WHELAN, Christopher J.; VERUTES, Gregory M. Ecosystem services provided by Neotropical birds. *The Condor*, v. 122, n. 3, 4 ago. 2020. DOI: duaa022.

NEWBOLD, T. et al. Ecological traits affect the response of tropical forest bird species to land-use intensity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 280, n. 1750, 2013. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3574433/>. Acesso em: 13 fev. 2025.

OLIVEIRA-FILHO, Ary T.; FONTES, Marco Aurélio L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate 1. *Biotropica*, v. 32, n. 4b, p.793-810, 2000.

ONLEY, Isabelle R.; GARDNER, Janet L.; SYMONDS, Matthew RE. Spatial and temporal variation in morphology in Australian whistlers and shrike-thrushes: is climate change causing larger appendages?. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 130, n. 1, p. 101-113, 2020.

OTTAVIANO, Ottavio; SCAPINI, Felicita. Can fluctuating asymmetry in *Talitrus saltator* (Montagu, 1808)(Crustacea, Amphipoda) populations be used as a bioindicator of stress on sandy beach ecosystems. *Oceanologia*, v. 52, n. 2, p. 259-280, 2010.

PALMER, A. Richard; STROBECK, Curtis. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Annual review of Ecology and Systematics*, p. 391-421, 1986.

PALMER, A. Richard; STROBECK, Curtis. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zoologica Fennica*, v. 191, n. 5772, p. 13, 1992

PARSONS, P. A. Fluctuating asymmetry: a biological monitor of environmental and genomic stress. *Heredity*, v. 68, n. 4, p. 361-364, 1992.

PFEIFER, Marion et al. Creation of forest edges has a global impact on forest vertebrates. *Nature*, v. 551, n. 7679, p. 187-191, 2017.

PIMENTEL, R. G. Bird extinctions in Atlantic Forest fragments of the Viçosa region, southeastern Brazil. 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net>.

RASMUSSEN, J. L.; ANTONIOU, A.; LYNCH, C. Assemblage and population-level consequences of forest fragmentation on bilateral asymmetry in tropical montane birds. *Ecography*, v. 31, n. 1, p. 128-138, 2008.

REMSEN, Jr., J. V. and G. M. Kirwan (2020). White-eyed Foliage-gleaner (*Automolus leucophthalmus*), version 1.0. In **Birds of the World** (J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D. A. Christie, and E. de Juana, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA.

REINERT, B. L.; PINTO, J. C.; BORNSCHEIN, M. R.; PICHORIM, M.; MARINI, M. Â. Massas corporais e medidas de aves da Mata Atlântica do sul, Brasil. 1996. Artigo científico. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 13, n. 4, p. 815–820.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro et al. **Diretrizes para a conservação e restauração da biodiversidade no estado de São Paulo**. 2008.

ROSS, Andrei Langeloh. Capturando Aves. In: Sandro Von Matter; Fernando C. Straube. Iury Accord; Victor Piacentini e José Flávio Cândido-Jr (Org). **Ornitologia e Conservação; Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento**. Rio de Janeiro: Technical Books, p. 77 - 105, 2010.

RYDING, Sara et al. Measuring avian beak size: comparing and evaluating 3D surface scanning with traditional size estimates in Australian birds. **Journal of Avian Biology**, p. e03248, 2024.

SARRE, Stephen. Habitat fragmentation promotes fluctuating asymmetry but not beakmorphological divergence in two geckos. **Researches on Population Ecology**, v. 38, n. 1, p. 57-64, 1996.

ŞEKERCIOĞLU, Çağan H.; BUECHLEY, Evan R. Avian ecological functions and ecosystem services in the tropics. **Why Birds Matter**, p. 321-340, 2016.

SEKERCIOGLU, Çagan H.; WENNY, Daniel G.; WHELAN, Christopher J. (Ed.). **Why birds matter: avian ecological function and ecosystem services**. University of Chicago Press, 2019.

SERRANO, I. L. O anilhamento como ferramenta para o estudo de aves migratórias. **Primer taller para la Conservación de Aves Playeras Migratorias en Arroceras del Cono Sur. Wetlands International, Buenos Aires, Argentina. Disponível em:** < <http://lac.wetlands.org>>. Acesso em: 23/01/2025 v. 11, n. 11, p. 2008, 2008.

SCHLUTER, Dolph; SMITH, James NM. Natural selection on beak and body size in the song sparrow. **Evolution**, v. 40, n. 2, p. 221-231, 1986.

SIEGEL, A.F.; WAGNER, M.R. Anova: Testing for Differences Among Many Samples and Much More. **Practical Business Statistics**, p.485-510, 2022.

SL, LEWIS. Tropical forest and the changing earth system. **Philos TR Soc B**, v. 361, p. 196-210, 2006.

SNEDDON, Lynne U.; SWADDLE, John P. Asymmetry and fighting performance in the shore crab *Carcinus maenas*. **Animal Behaviour**, v. 58, n. 2, p. 431-435, 1999.

STOUFFER, Philip C.; JOHNSON, Emily I.; BORGES, Sérgio H. Long-term change in the avifauna of undisturbed Amazonian rainforest: ground-foraging birds disappear and the baseline shifts. **Ecology Letters**, v. 23, n. 2, p. 339-346, 2020.

SUBASINGHE, Kalya. **Avian morphometrics and climate change**. 2022. Tese de Doutorado. The Australian National University (Australia).

TATTERSALL, Glenn J.; ARNAOUT, Bassel; SYMONDS, Matthew RE. The evolution of the avian beak as a thermoregulatory organ. **Biological Reviews**, v. 92, n. 3, p. 1630-1656, 2017.

TOWNSHEND, J. R. et al. Global characterization and monitoring of forest cover using Landsat data: Opportunities and challenges. **International Journal of Digital Earth**, v. 5, n. 5, p. 373– 397, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2012.713190>>.

UEZU, Alexandre; METZGER, Jean Paul. Vanishing bird species in the Atlantic Forest: relative importance of landscape configuration, forest structure and species characteristics. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, p. 3627-3643, 2011.

UTAH UNIVERSITY. *Coffee plantations limit birds' diets*. Utah University, 2022. Disponível em: <https://attheu.utah.edu/uncategorized/coffee-plantations-limit-birds-diets/>. Acesso em: 13 fev. 2025.

VAN VALEN, Leigh. A study of fluctuating asymmetry. **Evolution**, p. 125-142, 1962.

VELOSO, Henrique Pimenta; RANGEL-FILHO, Antonio Lourenço Rosa; LIMA, Jorge Carlos Alves. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Ibge, 1991.

WALZ, Ulrich et al. Landscape structure, landscape metrics and biodiversity. **Living reviews in landscape research**, v. 5, n. 3, p. 1-35, 2011.

WARRINGTON, Miyako H.; WATERMAN, Jane. Temperature-associated morphological changes in an African arid-zone ground squirrel. **Journal of Mammalogy**, v. 104, n. 2, p. 410-420, 2023.

WATSON, Paul J.; THORNHILL, Randy. Fluctuating asymmetry and sexual selection. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 9, n. 1, p. 21-25, 1994.

WEEKS, B. C.; WILLARD, D. E.; ZIMOVA, M.; ELLWOOD, E. R.; WIEGARDT, A.; LAWSON, L. P.; CICERO, C.; BERG, K. S. Morphological changes in birds over 40 years in response to climate change. **Science Advances**, v. 6, n. 1, p. eaba0931, 2020.

WEEKS, Brian C. et al. Shared morphological consequences of global warming in North American migratory birds. **Ecology Letters**, v. 23, n. 2, p. 316-325, 2020. DOI: 10.1111/ele.13427.

WHITNEY, B., de Juana, E. & Kirwan, G.M. (2016). Rufous Gnateater (*Conopophaga lineata*). In: del Hoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds).

WUNDERLE JR, Joseph M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands. **Forest ecology and management**, v. 99, n. 1-2, p. 223-235, 1997.

YOM-TOV, YORAM; YOM-TOV, JONATHAN. Global warming, Bergmann's rule and body size in the masked shrew *Sorex cinereus* Kerr in Alaska. **Journal of Animal Ecology**, v. 74, n. 5, p. 803-808, 2005.

YU, Mengting et al. An ArcMap plug-in for calculating landscape metrics of vector data. **Ecological Informatics**, v. 50, p. 207-219, 2019

YUE, Xinke et al. Body size and diet-related morphological variation of bats over the past 65 years in China. **Journal of Mammalogy**, v. 101, n. 1, p. 61-79, 2020.