



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

MATHEUS EDUARDO BORTOLLOTTI

**DIVERSIDADE E CONTRIBUIÇÃO FUNCIONAL EM
COMUNIDADE DE AVES EM ZONA DE TRANSIÇÃO
ENTRE DOIS TIPOS DE FLORESTA NA MATA
ATLÂNTICA**

MATHEUS EDUARDO BORTOLLOTTI

**DIVERSIDADE E CONTRIBUIÇÃO FUNCIONAL EM
COMUNIDADE DE AVES EM ZONA DE TRANSIÇÃO
ENTRE DOIS TIPOS DE FLORESTA NA MATA
ATLÂNTICA**

Trabalho de Dissertação apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Biológicas da Universidade Estadual de
Londrina, como requisito para a obtenção do
título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz dos Anjos.

Coorientador: Dr. Fábio Zanella Farneda.

Londrina, 2026

MATHEUS EDUARDO BORTOLLOTTI

DIVERSIDADE E CONTRIBUIÇÃO FUNCIONAL EM COMUNIDADE DE AVES EM ZONA DE TRANSIÇÃO ENTRE

Trabalho de Dissertação apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas
da Universidade Estadual de Londrina, como requisito
para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz dos Anjos.
Coorientador: Dr. Fábio Zanella Farneda.

BANCA EXAMINADORA

Luiz dos Anjos

Prof. Orientador
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Marcos Robalinho Lima

Prof. Membro 2
Universidade Estadual de Londrina – UEL

José Carlos Morante Filho

Prof. Membro 3
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC

Londrina, 20 de Fevereiro de 2026

B739 BORTOLLOTTI, Matheus Eduardo.
DIVERSIDADE E CONTRIBUIÇÃO FUNCIONAL EM COMUNIDADE DE AVES EM ZONA DE TRANSIÇÃO ENTRE DOIS TIPOS DE FLORESTA NA MATA ATLÂNTICA / Matheus Eduardo BORTOLLOTTI. - Londrina, 2026.
61 f. : il.

Orientador: Luiz dos Anjos.
Coorientador: Fábio Zanella Farneda.
Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Avifauna Neotropical - Tese. 2. Funcionalidade dos Ambientes - Tese. 3. Conservação - Tese. 4. Ecologia - Tese. I. dos Anjos, Luiz. II. Farneda, Fábio Zanella. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU 577.4

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES 001) pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de mestrado, fundamental para a realização deste trabalho. O incentivo proporcionado pela CAPES foi essencial para minha dedicação à pesquisa e para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional durante o mestrado. Agradeço também ao meu orientador e ao meu coorientador pela ajuda, paciência e orientação. Agradeço meus companheiros de laboratório que de alguma forma me ajudaram a crescer profissionalmente, mas principalmente como pessoa.

Agradeço é claro a minha família, meu pai Lorivaldo, minha mãe Suely e minha irmã Patrícia, que sempre me apoiaram nas minhas decisões e objetivos, e que sem eles eu não seria absolutamente nada. Agradeço por fim meus amigos, alguns ainda do ensino médio que entraram na UEL comigo, outros que seguiram caminhos totalmente diferentes da universidade, e principalmente aqueles que fiz na UEL, pretendo carregar todos no meu coração pelo resto da minha vida. Muito obrigado a todos!!!!

Poderoso para mim não é aquele que descobre ouro.

Para mim poderoso é aquele que descobre as insignificâncias (do mundo e as nossas).

Por essa pequena sentença me elogiaram de imbecil. Fiquei emocionado e chorei.

Sou fraco para elogios.....

-Manuel de Barros.

BORTOLLOTTI, Matheus Eduardo., DOS ANJOS, Luiz., FARNEDA, Fábio Zanella. **Diversidade e Contribuição Funcional em Comunidade de Aves em Zona de Transição entre dois Tipos de Floresta na Mata Atlântica**. 2026. 59. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de Mestre, Londrina.

RESUMO: Em um cenário global de declínio e homogeneização da biodiversidade, a ecologia funcional surge como uma ferramenta essencial para compreender as consequências das alterações antrópicas nos serviços ecossistêmicos. Este estudo investigou a estrutura funcional de comunidades de aves em uma Zona de Transição (ZT) entre a Floresta Estacional Semidecidual (FES) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM), no hotspot da Mata Atlântica do sul do Brasil. O objetivo foi avaliar se a comunidade de aves dessas áreas traduz-se em redundância ou em singularidade funcional, fatores determinantes para a resiliência regional dos ambientes. As comunidades foram amostradas pelo método de pontos de escuta. Foram utilizados dados morfológicos e ecológicos para a construção de hipervolumes de densidade de Kernel, calculando-se as métricas de Riqueza Funcional (FRic), Dispersão (FDis), Equitabilidade (FEve) e contribuição funcional. As diferenças entre ambientes foram analisadas via Teste t pareado. A similaridade e singularidade funcional foram estimadas pelo índice de Jaccard e pela fração de singularidade (fraction unique) respectivamente, comparando-se a ZT a um espaço funcional "Global" (FES + FOM). Registramos um total de 170 espécies (36 famílias), distribuídas em: 94 na FES, 110 na FOM e 113 na ZT. A ZT apresentou maior riqueza funcional (FRic) em comparação às áreas adjacentes e maior dispersão (FDis) em relação à FOM ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa na equitabilidade (FEve), indicando distribuições de abundância semelhantes no espaço funcional. A sobreposição funcional entre a ZT e o espaço Global foi de 72% (Jaccard), contudo, a ZT apresentou um espaço funcional exclusivo de 13%, evidenciando traços não compartilhados com os outros dois ambientes. Concluimos que a conservação de zonas de transição entre os habitats principalmente dentro de hotspots se mostram cruciais para a preservação da diversidade funcional em paisagens naturais e fragmentadas, garantindo a manutenção de uma ampla gama de funções ecossistêmicas fundamentais para a sociedade. Nesse contexto, a degradação ou perda das zonas de transição não representa apenas perda de espécies, mas também pode resultar em extinções funcionais, comprometendo a capacidade dos ecossistemas de desempenhar funções críticas, e de manter ligações entre si, neste sentido, maior atenção deveria ser dada à conservação de zonas de transição.

Palavras-chave: Funcionalidade; Zona de Transição; Mata Atlântica; Aves Neotropicais; Singularidade Funcional.

BORTOLLOTTI, Matheus Eduardo., DOS ANJOS, Luiz., FARNEDA, Fábio Zanella. **Diversity and Functional Contribution in Bird Communities in a Transition Zone between Two Types of Forest in the Atlantic Forest.** 2026. 59. Dissertation (Master's degree in Biological Sciences) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

ABSTRACT: In a global scenario of biodiversity decline and biotic homogenization, functional ecology emerges as an essential tool for understanding the consequences of anthropogenic changes on ecosystem services. This study investigated the functional structure of bird communities within a Transition Zone (TZ) between Seasonal Semideciduous Forest (SSF) and Mixed Ombrophilous Forest (MOF) in the Atlantic Forest hotspot of southern Brazil. The objective was to assess whether bird communities in these areas exhibit functional redundancy or functional uniqueness, key factors determining the regional resilience of ecosystems. Communities were sampled using the point-count method. Morphological and ecological traits were used to construct kernel density hypervolumes, from which Functional Richness (FRic), Functional Dispersion (FDis), Functional Evenness (FEve), and functional contribution were calculated. Differences among environments were assessed using paired t-tests. Functional similarity and uniqueness were estimated using the Jaccard index and the fraction of uniqueness (fraction unique), respectively, by comparing the TZ to a “Global” functional space (SSF + MOF). A total of 170 species (36 families) were recorded, distributed as follows: 94 in SSF, 110 in MOF, and 113 in TZ. The TZ exhibited higher functional richness (FRic) compared to adjacent areas and greater dispersion (FDis) relative to MOF ($p < 0.05$). No significant differences were found in functional evenness (FEve), indicating similar abundance distributions within the functional space. Functional overlap between the TZ and the global space reached 72% (Jaccard), while the TZ presented 13% exclusive functional space, revealing traits not shared with the other two environments. We conclude that the conservation of transition zones between habitats—especially within biodiversity hotspots—is crucial for maintaining functional diversity in both natural and fragmented landscapes, thereby ensuring the persistence of a wide range of ecosystem functions essential to society. In this context, the degradation or loss of transition zones represents not only species loss but may also lead to functional extinctions, ultimately compromising the ability of ecosystems to perform critical functions and maintain ecological connectivity. Therefore, greater attention should be given to the conservation of transition zones.

Key-words: Functionality; Transition Zone; Atlantic Forest; Neotropical Birds; Functional Uniqueness.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Região de Zona de Transição (ZT) entre Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Ombrófila Mista (FOM) na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Instituto Monte Sinai, norte do estado do Paraná, Brasil. Os polígonos vermelhos indicam as três áreas amostradas (Parque Estadual Mata dos Godoy, Zona de Transição da RPPN, Parque Ecológico da Klabin).....29
- Figura 2** – Os valores numéricos são baseados nos resultados do terminal (arredondados). Jaccard = Interseção/União Total. As frações únicas são normalizadas em relação ao volume de cada conjunto individual Exclusivo de A/ Total presente em A.....35
- Figura 3** – Curva de rarefação e extrapolação das espécies com base nos números de Hill. Linha laranja representa a Zona de Transição (ZT), linha Azul a Floresta Mista (FOM) e a linha Roxa a Floresta Estacional (FES).....36
- Figura 4** – a= Riqueza funcional (FRic), b= dispersão funcional (FDis) e c= equitabilidade funcional (FEve) das comunidades de aves na Floresta Estacional Semidecidual (FES), Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Zona de Transição (ZT) na Mata Atlântica do sul do Brasil. Os valores foram calculados utilizando Kernel-density hypervolumes, com diferenças significativas indicadas por asteriscos ($p < 0,05$). Os elementos do boxplot são indicados por medianas (linhas horizontais), intervalos interquartis (barras coloridas) e amplitudes dos dados (linhas verticais).....37
- Figura 5** – Diagrama de Veen da sobreposição funcional segundo o índice de Jaccard (similaridade) (valores no centro) e Unique Fraction (fração única/singularidade) entre os ambientes (valores das bordas).....37

Figura 6 – Valores de contribuição das 25 espécies de aves que mais
contribuíram na diversidade funcional das comunidades nos três
locais estudados FES, FOM e ZT.....38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características funcionais das aves analisadas na avaliação da diversidade funcional entre Floresta Estacional Semidecidual (FES), Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Zona de Transição (ZT) na Mata Atlântica do sul do Brasil. Dados morfológicos e ecológicos foram obtidos das bases AVONET (Tobias et al., 2022) e EltonTraits (Wilman et al., 2014), com refinamentos baseados em literatura especializada.....33

Tabela 2 – Lista das 170 espécies e famílias registradas em cada um dos três ambientes estudados.....44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- FES Floresta Estacional Semidecidual.
- FOM Floresta Ombrófila Mista.
- ZT Zona de Transição.
- FRic Riqueza Funcional.
- FDis Dispersão Funcional.
- FEvee Uniformidade Funcional.

Sumário

APRESENTAÇÃO	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS	13
DIVERSIDADE E CONTRIBUIÇÃO FUNCIONAL EM COMUNIDADE DE AVES EM ZONA DE TRANSIÇÃO ENTRE DOIS TIPOS DE FLORESTA NA MATA ATLÂNTICA	22
1. INTRODUÇÃO	25
2. Material e métodos	28
2.1 Áreas de estudo	28
2.2 Amostragem de aves	30
2.3 Características funcionais	31
2.4 Análise de dados.....	34
3. RESULTADOS	35
4. DISCUSSÃO	39
5. REFERÊNCIAS	48

APRESENTAÇÃO

A dissertação será apresentada inicialmente por uma Introdução Geral mais longa e multidisciplinar, onde o tema será abordado de maneira mais ampla, e depois, no formato de artigo científico, que será submetido para a revista “BIOTROPICA”. As normas de formatação da revista selecionada podem ser acessadas em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/17447429/homepage/forauthors.html>

INTRODUÇÃO GERAL

Em um cenário global marcado pelo declínio acentuado e pela homogeneização da biodiversidade, a ecologia de comunidades tem buscado abordagens que transcendam a métrica numérica de espécies (Newbold et al. 2014; Haddad et al. 2015). Nesse contexto, a abordagem funcional tem se destacado como uma ferramenta robusta, complementando as análises tradicionais baseadas estritamente na riqueza e composição taxonômica (Mace, 2014; Violle et al., 2014; Whittaker et al., 2014; Newbold et al. 2014; Matuoka et al., 2020).

A relevância dessa perspectiva reside em sua capacidade preditiva, pois focar traços biológicos das espécies o que torna possível antecipar as consequências de alterações na biodiversidade e na manutenção de serviços ecossistêmicos frequentemente oriundas de impactos antrópicos sobre o funcionamento e a estabilidade dos ecossistemas (Hillebrand et al., 2008; Silvestri et al., 2013; Tolessa et al., 2017; Perevochtchikova et al., 2019; Matuoka et al., 2020).

Tais investigações sobre a diversidade e contribuição funcional tornam-se críticas em regiões classificadas como hotspots de biodiversidade. Estas áreas concentram elevado endemismo, riqueza biológica e enfrentam um histórico severo de degradação (Turner et al., 2007; Weller et al. 2019). Frequentemente, esses hotspots coincidem espacialmente com grandes metrópoles em expansão, tornando a manutenção de sua funcionalidade vital para a economia e saúde pública global, uma vez que o bem-estar humano nesses centros depende de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação climática, o fornecimento de água e a estocagem de carbono (Fisher & Christopher, 2007; Hinata & Basso, 2022).

Dentre os hotspots globais, a Mata Atlântica sobressai-se por sua notável heterogeneidade ambiental, sustentada por gradientes latitudinais e altitudinais que favoreceram a formação de distintas fitofisionomias (Myers et al., 2000; Joly et al., 2014). No entanto, este bioma sofre com um intenso grau de ameaça e fragmentação (Ribeiro et al., 2009; INPE, 2023; Vancine et al., 2024). Na região sul do Brasil, essa diversidade vegetal é representada pela Floresta Estacional Semidecidual (FES), caracterizada por espécies como *Aspidosperma polyneuron* e *Euterpe edulis*, e pela Floresta Ombrófila Mista (FOM), definida pela presença conspícua de *Araucaria angustifolia* (Maack, 1981; Schäffer & Prochnow, 2002; IBGE, 2012). Embora compartilhem elementos da biota, estudos indicam que FES e FOM abrigam comunidades de plantas e de aves distintas entre si (Anjos et al., 2018), o que torna importante compreender como a diversidade funcional varia nas zonas de contato entre elas.

As Zonas de Transição (ZT) não antrópicas podem representar ambientes de altíssima dinâmica ecológica, atuando como conectores entre diferentes ecossistemas ou comunidades biológicas (Odum, 1997). É fundamental distinguir as ZTs dos ecótonos tradicionais, enquanto ecótonos operam em escala local com reorganizações abruptas, as zonas de transição manifestam-se em escalas regionais ou continentais, apresentando uma substituição gradual de espécies que resulta em comunidades mistas e ambientes altamente heterogêneos (Kark & van Rensburg, 2006; Smith et al., 1997; Moritz et al., 2000; Ferro & Morrone, 2014; Hermogenes & Ebach, 2020). Tais áreas exercem papéis ecológicos cruciais como zonas de amortecimento, centros evolutivos de especiação e reservatórios de alelos únicos das populações de espécies que vivem nessas distribuições geográficas. A aplicação da abordagem funcional nestas zonas é estratégica, pois a sobreposição de condições abióticas e bióticas amplia a biodiversidade local e,

simultaneamente, a vulnerabilidade do sistema a perturbações (Smith et al. 1997; Smith et al. 2001; Smith et al. 2005; Odum, 2006; Kitzberger, 2012).

Apesar dessa importância, existe uma lacuna de conhecimento significativa, sendo que nenhum estudo avaliou a diversidade funcional de aves especificamente em zonas de transição entre florestas neotropicais. A literatura existente foca majoritariamente em gradientes de savana-floresta, variações altitudinais ou restringe-se a comunidades vegetais (Carvajal-Cogollo & Urbina-Cardona, 2015; Altamirano et al., 2020; Silva et al., 2021). Para preencher essa lacuna e compreender a funcionalidade desses ambientes, é necessário utilizar métricas que reflitam as variações nos traços morfológicos, fisiológicos e comportamentais das espécies (Tilman, 2001; Violle et al., 2007; Laliberté & Legendre, 2010).

Nesse contexto, as aves constituem um grupo modelo ideal. Sua ampla distribuição, sensibilidade a alterações no habitat e a variedade de funções que desempenham como a dispersão de sementes e o controle de insetos permitem inferências sobre a saúde do ecossistema (Sekercioglu et al., 2016; Lovette & Fitzpatrick, 2016). Embora a taxonomia da avifauna da Mata Atlântica seja bem documentada (Anjos & Schuchmann, 1997; Oliveira et al., 2023; Anjos et al., 2024), a variação funcional das comunidades e a contribuição individual das espécies para o espaço de nicho ainda são pouco compreendidas, especialmente sob a ótica de como as transições florestais moldam esses processos (Anjos et al., 2019; Matuoka et al., 2020; Calsavara et al., 2024; Farneda et al., 2025) principalmente em zonas de transição dentro do hotspot de Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 52, p. 1–21, 1977.

ALBERT, J. S.; REIS, R. E. **Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes**. Berkeley: University of California Press, 2011.

ALTAMIRANO, T. A.; DE ZWAAN, D. R.; IBARRA, J. T.; WILSON, S.; MARTIN, K. Treeline ecotones shape the distribution of avian species richness and functional diversity in south temperate mountains. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 18428, 2020.

ALVARENGA, H. M. F.; HÖFLING, E. Systematic revision of the Phorusrhacidae (Aves: Ralliformes). **Papéis Avulsos de Zoologia**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 55–91, 2003.

ANJOS, L. dos; BOCHIO, G. M.; MEDEIROS, H. R.; ALMEIDA, B. D. A.; LINDSEY, B. R. A.; CALSAVARA, L. C.; DIAS, D. F.; TOREZAN, J. M. D. Insights on the functional composition of specialist and generalist birds throughout continuous and fragmented forests. **Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 9, n. 11, p. 6318-6328, 2019.

ANJOS, L. dos; MEDEIROS, H. R.; LOPES, E. V.; HOLT, R. D.; TAVARES, M. M.; OLIVEIRA, H. S. Landscape composition and configuration drive bird richness, abundance, and functional diversity in Neotropical forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, [s.l.], p. 1-21, 2025.

ANJOS, L. dos; OLIVEIRA, H. S.; LOPES, E. V.; MEDEIROS, H. R. Valley bottoms increase bird species richness in Atlantic Forest fragments. **Acta Oecologica**, [s.l.], v. 124, p. 104008, 2024.

ANJOS, L. dos; SCHUCHMANN, K. L.; BERNDT, R. Avifaunal composition, species richness, and status in the Tibagi river basin, Paraná State, southern Brazil. **Ornitologia Neotropical**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 4, 1997.

ANJOS, L. dos; VOLPATO, G. H.; LOPES, E. V.; WILLRICH, G.; BOCHIO, G. M.; LINDSEY, B. R. A.; LIMA, M. R. Distributions of birds and plants in ecoregions: implications for the conservation of a neotropical biodiversity hotspot. **Austral Ecology**, [s.l.], v. 43, n. 7, p. 839-849, 2018.

ARRHENIUS, O. Species and Area. **Journal of Ecology**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 95–99, 1921.

BARKER, F. K.; BURNS, K. J.; KLIČKA, J.; LANYON, S. M.; LOVETTE, I. J. New insights into New World biogeography: an integrated view from the phylogeny of blackbirds, cardinals, sparrows, tanagers, warblers, and allies. **The Auk: Ornithological Advances**, [s.l.], v. 132, n. 2, p. 333-348, 2015.

BARKER, F. K.; CIBOIS, A.; SCHIKLER, P.; FEINSTEIN, J.; CRACRAFT, J. Phylogeny and diversification of the largest avian radiation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 101, n. 30, p. 11040-11045, 2004.

BARNAGAUD, J. Y.; MAZET, N.; MUNOZ, F.; GRENIÉ, M.; DENELLE, P.; SOBRAL, M.; PAVOINE, S.; COUTERON, P.; VIOLLE, C. Functional biogeography of dietary strategies in birds. **Global Ecology and Biogeography**, [s.l.], v. 28, n. 7, p. 1004-1017, 2019.

BEHLING, H. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, [s.l.], v. 97, p. 117–135, 1997.

BISWAS, S. R.; MALLIK, A. U. Disturbance effects on species diversity and functional diversity in riparian and upland plant communities. **Ecology**, [s.l.], v. 91, n. 1, p. 28–35, 2010.

BOÇON, R. **A avifauna da Floresta de Araucária**: composição, ecologia e conservação. 1994. Tese (Doutorado em Zoologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

BURNS, K. J.; SHULTZ, A. J.; TITLE, P. O.; MASON, N. A.; BARKER, F. K.; KLIKA, J.; LANYON, S. M.; LOVETTE, I. J. Phylogenetics and diversification of tanagers (Passeriformes: Thraupidae), the largest radiation of Neotropical songbirds. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [s.l.], v. 75, p. 41–77, 2014.

CABANNE, G. S.; D'HORTA, F. M.; SARI, E. H.; SANTOS, F. R.; MIYAKI, C. Y. Nuclear and mitochondrial phylogeography of the Atlantic forest endemic *Xiphorhynchus fuscus* (Aves: Dendrocolaptidae): biogeography and systematics implications. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [s.l.], v. 49, n. 3, p. 760-773, 2008.

CALSAVARA, L. C.; LIMA, M. R.; BOCHIO, G. M.; MEDEIROS, H. R.; ANJOS, L. dos. Bird communities are more functionally redundant in less disturbed Araucaria forest. **Ornithology Research**, [s.l.], v. 32, n. 1, p. 70–77, 2024.

CARSTENSEN, D. W.; DALSGAARD, B.; SVENNING, J. C.; RAHBEK, C.; FJELDSÅ, J.; SUTHERLAND, W. J.; OLESEN, J. M. The functional biogeography of species: biogeographical species roles of birds in Wallacea and the West Indies. **Ecography**, [s.l.], v. 36, n. 10, p. 1097-1105, 2013.

CARVAJAL-COGOLLO, J. E.; URBINA-CARDONA, N. Ecological grouping and edge effects in tropical dry forest: reptile-microenvironment relationships. **Biodiversity and Conservation**, [s.l.], v. 24, p. 1109–1130, 2015.

CASE, J. A.; GOIN, F. J.; WOODBURN, M. O. "South American" marsupials from the Late Cretaceous of North America and the origin of marsupial cohorts. **Journal of Mammalian Evolution**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 223-255, 2004.

CLEMENTS, J. F.; SCHULENBERG, T. S.; ILIFF, M. J.; ROBERSON, D.; FREDERICKS, T. A.; SULLIVAN, B. L.; WOOD, C. L. **The eBird/Clements checklist of birds of the world**: v2013. Ithaca: Cornell Lab of Ornithology, 2013.

DEL HOYO, J.; ELLIOTT, A.; CHRISTIE, D. A. (Eds.). **Handbook of the Birds of the World**. Vol. 9: Cotingas to Pipits and Wagtails. Barcelona: Lynx Edicions, 2004.

DELCOURT, P. A.; DELCOURT, H. R. Ecotone dynamics in space and time. *In*: HANSEN, A. J.; DI CASTRI, F. (Eds.). **Landscape Boundaries**. New York: Springer, 1992.

DE WIT, M. J.; JEFFERY, M.; BERGH, H.; NICOLAYSEN, L. **Geological Map of Sectors of Gondwana**: reconstructed to their disposition 150 Ma. [S.l.]: AAPG, 1988.

DIAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 16, n. 11, p. 646–655, 2001.

DIXON, J. **Cassell's Atlas of Evolution**. [S.l.]: Cassell, 1998.

ERICSON, P. G.; ANDERSON, C. L.; BRITTON, T.; ELZANOWSKI, A.; JOHANSSON, U. S.; KÄLLERSJÖ, M.; PARSONS, T. J.; ZUCCON, D.; MAYR, G. Diversification of Neoaves: integration of molecular sequence data and fossils. **Biology Letters**, [s.l.], v. 2, n. 4, p. 543-547, 2006.

FARNEDA, F. Z.; DE SOUZA, A. L.; WILLRICH, G.; BORTOLLOTTI, M. E.; ANJOS, L. dos; LIMA, M. R. Bird functional composition in an Atlantic Forest fragment: the importance of lowland and upland habitats. **Ornithology Research**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 21, 2025.

FÁVARO, F. D. L.; ANJOS, L. dos; LOPES, E. V.; MENDONÇA, L. B.; VOLPATO, G. H. Efeito do gradiente altitudinal/latitudinal sobre espécies de aves florestais da família Furnariidae na Bacia do Rio Tibagi, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, p. 261-266, 2006.

FERRO, I., & MORRONE, J. J. (2014). **Biogeographical transition zones: a search for conceptual synthesis**. Biological Journal of the Linnean Society, 113(1), 1-12.

FITZPATRICK, J. W.; BATES, J. M.; BOSTWICK, K. S.; CABALLERO, I. C.; CLOCK, B. M.; FARNSWORTH, A.; HOSNER, P. A.; JOSEPH, L.; LANGHAM, G. M.; LEBBIN, D. J.; MOBLEY, J. A.; ROBBINS, M. B.; SCHOLLES, E.; TELLO, J. G.; WALTHER, B.

A.; ZIMMER, K. J. Family Tyrannidae (Tyrant-flycatchers). *In*: DEL HOYO, J.; ELLIOTT, A.; CHRISTIE, D. A. (Eds.). **Handbook of the Birds of the World**. Vol. 9. Barcelona: Lynx Edicions, 2004.

HADDAD, N. M., BRUDVIG, L. A., CLOBERT, J., DAVIES, K. F., GONZALEZ, A., HOLT, R. D., ... & TOWNSHEND, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, 1(2), e1500052.

HAFFER, J. Speciation in Amazonian forest birds: most species probably originated in forest refuges during dry climatic periods. **Science**, [s.l.], v. 165, n. 3889, p. 131-137, 1969.

HERMOGENES DE MENDONÇA, L., & EBACH, M. C. (2020). **A review of transition zones in biogeographical classification**. *Biological Journal of the Linnean Society*, 131(4), 717-736.

HOLLAND, M. M. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries: report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones. **Biology International**, [s.l.], v. 17, p. 47–106, 1988.

INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. São José dos Campos: Fundação SOS Mata Atlântica / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023. Relatório Técnico.

JOLY, C. A., METZGER, J. P., & TABARELLI, M. (2014). **Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives**. *New phytologist*, 204(3), 459-473.

KARK, S.; VAN RENSBURG, B. J. Ecotones: marginal or central areas of transition? **Israel Journal of Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 52, p. 29–53, 2006.

KITZBERGER, T. Ecotones as complex arenas of disturbance, climate change, and invasive species. *In*: MYSTERS, R. W. (Ed.). **Ecotones Between Forest and Grassland**. New York: Springer, 2012.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, Itajaí, v. 12, p. 17–44, 1960.

KLEIN, R. M. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar o mapa fitogeográfico do município de Curitiba e arredores. **Boletim da Universidade do Paraná: Geografia Física**, Curitiba, n. 4, 1963.

KLEIN, R. M. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia**, Itajaí, v. 36, p. 5–54, 1984.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, [s.l.], v. 91, n. 1, p. 299–305, 2010.

LOPES, E. V.; VOLPATO, G. H.; MENDONÇA, L. B.; FÁVARO, F. D. L.; ANJOS, L. dos. Abundância, microhabitat e repartição ecológica de papa-formigas (Passeriformes, Thamnophilidae) na bacia hidrográfica do rio Tibagi, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 23, p. 395-403, 2006.

LOVETTE, I. J.; FITZPATRICK, J. W. (Eds.). **Handbook of Bird Biology**. 3. ed. [S.l.]: Wiley, 2016.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton: Princeton University Press, 2001. v. 1.

MALDONADO-COELHO, M. Climatic oscillations shape the phylogeographical structure of Atlantic Forest fire-eye antbirds (Aves: Thamnophilidae). **Biological Journal of the Linnean Society**, [s.l.], v. 105, n. 4, p. 900-924, 2012.

MAYR, G. On the osteology and phylogenetic affinities of the Pseudasturidae – Lower Eocene stem-group representatives of parrots (Aves, Psittaciformes). **Zoological Journal of the Linnean Society**, [s.l.], v. 136, 2002.

MILLER, D. F. **Serra dos Órgãos: sua história e suas orquídeas**. [S.l.]: Scart, 2006.

MITTERMEIER, R. A.; ROBLES GIL, P.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; DA FONSECA, G. A. B. **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. Mexico City: CEMEX, 2004.

MOORE, W. S.; MIGLIA, K. J. Woodpeckers, toucans, barbets, and allies (Piciformes). In: HEDGES, S. B.; KUMAR, S. (Eds.). **The Timetree of Life**. Oxford: Oxford University Press, 2009. p. 445-450.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [s.l.], v. 403, p. 853–858, 2000.

NEWBOLD, T., SCHARLEMANN, J. P., BUTCHART, S. H., ŞEKERCIOĞLU, Ç. H., Joppa, L., ALKEMADE, R., & PURVES, D. W. (2014). Functional traits, land-use change and the structure of present and future bird communities in tropical forests. *Global ecology and biogeography*, 23(10), 1073-1084.

ODUM, E. P. **Fundamentos da Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

OLIVEIRA, H. S.; ANJOS, L. dos. Reduced vegetation integrity in selectively logged Atlantic rainforest affects bird diversity: Higher taxonomic and functional diversity, but increased niche overlap. **Journal for Nature Conservation**, [s.l.], v. 73, p. 126399, 2023.

PIZO, M. A.; TONETTI, V. R. Living in a fragmented world: Birds in the Atlantic Forest. *In*: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (Eds.). **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest**. Cham: Springer, 2021. p. 305-328.

PRUM, R. O.; BERV, J. S.; DORNBURG, A.; FIELD, D. J.; TOWNSEND, J. P.; LEMMON, E. M.; LEMMON, A. R. A comprehensive phylogeny of birds (Aves) using targeted next-generation DNA sequencing. **Nature**, [s.l.], v. 526, n. 7574, p. 569-573, 2015.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009.

RICOTTA, C.; BACARO, G.; MORETTI, M. A new measure of functional evenness and some of its properties. **PLoS One**, [s.l.], v. 9, n. 8, p. e104060, 2014.

SCHÄFFER, W. B.; PROCHNOW, M. **A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira**. Brasília: APREMAVI, 2002.

SCHER, H. D.; MARTIN, E. E. Timing and climatic consequences of the opening of Drake Passage. **Science**, [s.l.], v. 312, p. 428–430, 2006.

ŞEKERCIOĞLU, Ç. H.; BUECHLEY, E. R. Avian ecological functions and ecosystem services in the tropics. *In*: ŞEKERCIOĞLU, Ç. H.; WENNY, D. G.; WHELAN, C. J. (Eds.). **Why birds matter**. Chicago: University of Chicago Press, 2016. p. 321-340.

SELVATTI, A. P.; GONZAGA, L. P.; RUSSO, C. A. M. A Paleogene origin for crown passerines and the diversification of the Oscines in the New World. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [s.l.], v. 88, p. 1-15, 2015.

SI, X.; BASELGA, A.; LEPRIEUR, F.; SONG, X.; DING, P. Functional and phylogenetic structure of island bird communities. **Journal of Animal Ecology**, [s.l.], v. 85, n. 2, p. 532-542, 2016.

SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

SILVA, L. A.; VALLADARES, F.; BENAVIDES, R.; FLORES, O.; GONZAGA, A. P. D. Functional diversity and assembly rules of two deciduous seasonal forests in Southeastern Brazil. **Forest Science**, [s.l.], v. 67, n. 5, p. 514–524, 2021.

SMITH, B. T.; THOM, G.; JOSEPH, L. Revised evolutionary and taxonomic synthesis for parrots (Order: Psittaciformes) guided by phylogenomic analysis. **Bulletin of the American Museum of Natural History**, New York, n. 468, p. 1-87, 2024.

STOUFFER, P. C.; BIERREGAARD, R. O. Use of Amazonian forest fragments by understory insectivorous birds. **Ecology**, [s.l.], v. 76, n. 8, p. 2429–2445, 1995.

STUART-SMITH, R. D.; BATES, A. E.; LEFCHECK, J. S.; DUFFY, J. E.; BAKER, S. C.; THOMSON, R. J.; STUART-SMITH, J. F.; HILL, N. A.; KININMONTH, S. J.; CAMPBELL, L. M.; RUSHTON, M. J.; EDGAR, G. J. Integrating abundance and functional traits reveals new global hotspots of fish diversity. **Nature**, [s.l.], v. 501, n. 7468, p. 539-542, 2013.

TILMAN, D. Functional diversity. In: LEVIN, S. A. (Ed.). **Encyclopedia of Biodiversity**. [S.l.]: Academic Press, 2001.

VANCINE, M. H.; MUYLAERT, R. L.; NIEBUHR, B. B.; OSHIMA, J. E. F.; TONETTI, V.; BERNARDO, R.; DE ANGELO, C.; ROSA, M. R.; GROHMANN, C. H.; RIBEIRO, M. C. The Atlantic Forest of South America: spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 291, p. 110499, 2024.

VAN DER MAAREL, E. On the establishment of plant community boundaries. **Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft**, [s.l.], v. 89, p. 415-443, 1976.

VILLAGRÁN, C.; HINOJOSA, L. F. Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico. **Revista Chilena de Historia Natural**, [s.l.], v. 70, 1997.

VILLÉGER, S.; GRENOUILLET, G.; BROSSE, S. Decomposing functional β -diversity reveals that low functional β -diversity is driven by low functional turnover in European fish assemblages. **Global Ecology and Biogeography**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 671-681, 2013.

VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, [s.l.], v. 116, n. 5, p. 882-892, 2007.

VIOLLE, C.; REICH, P. B.; PACALA, S. W.; ENQUIST, B. J.; KATTGE, J. The emergence and promise of functional biogeography. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 111, n. 38, p. 13690-13696, 2014.

WALKER, B.; KINZIG, A.; LANGRIDGE, J. Plant attribute diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. **Ecosystems**, [s.l.], v. 2, p. 95–113, 1999.

WEISS, K.; RAY, C. A. Unifying functional trait approaches to understand the assemblage of ecological communities. **Community Ecology**, [s.l.], v. 20, p. 109-118, 2019.

WHITTAKER, R. J.; RIGAL, F.; BORGES, P. A.; CARDOSO, P.; TERZOPOULOU, S.; CASANOVES, F.; PLA, L.; GUILHAUMON, F.; LADLE, R. J.; TRIANTIS, K. A. Functional biogeography of oceanic islands and the scaling of functional diversity in the Azores. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 111, n. 38, p. 13709-13714, 2014.

WIENS, J. A.; CRAWFORD, C. S.; GOSZ, J. R. Boundary dynamics: a conceptual framework for studying landscape ecosystems. **Oikos**, [s.l.], p. 421-427, 1985.

WOLFE, J. D.; LUTHER, D. A.; JIRINEC, V.; COLLINGS, J.; JOHNSON, E. I.; BIERREGAARD JR, R. O.; STOUFFER, P. C. Climate change aggravates bird mortality in pristine tropical forests. **Science Advances**, [s.l.], v. 11, n. 5, p. eadq8086, 2025.

WRIGHT, T. F.; SCHIRTZINGER, E. E.; MATSUMOTO, T.; EBERHARD, J. R.; GRAVES, G. R.; SANCHEZ, J. J.; CAPELLI, S.; MÜLLER, H.; SCHARPEGGE, J.; CHAMBERS, G. K.; FLEISCHER, R. C. A multilocus molecular phylogeny of the parrots (Psittaciformes): support for a Gondwanan origin during the Cretaceous. **Molecular Biology and Evolution**, [s.l.], v. 25, n. 10, p. 2141-2156, 2008.

DIVERSIDADE E CONTRIBUIÇÃO FUNCIONAL EM COMUNIDADE DE AVES EM ZONA DE TRANSIÇÃO ENTRE DOIS TIPOS DE FLORESTA NA MATA ATLÂNTICA

Matheus E. Bortolloti^{1,2*}, Fábio Z. Farneda², Luiz dos Anjos²

¹*Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Paraná, Brasil.*

²*Laboratory of Biodiversity, State University of Londrina, Brazil.*

*Corresponding author: matheus.bortolloti@uel.br (Bortolloti M. E.)

ORCID:

MEB: 0009-0005-5838-9033

LA: 0000-0002-8680-2375

FZF:

ABSTRACT

In a global scenario of biodiversity decline and biotic homogenization, functional ecology emerges as an essential tool for understanding the consequences of anthropogenic changes on ecosystem services. This study investigated the functional structure of bird communities within a Transition Zone (TZ) between Seasonal Semideciduous Forest (SSF) and Mixed Ombrophilous Forest (MOF) in the Atlantic Forest hotspot of southern Brazil. The objective was to assess whether bird communities in these areas exhibit functional redundancy or functional uniqueness, key factors determining the regional resilience of ecosystems. Communities were sampled using the point-count method. Morphological and ecological traits were used to construct kernel density hypervolumes, from which Functional Richness (FRic), Functional Dispersion (FDis), Functional Evenness (FEve), and functional contribution were calculated. Differences among environments were assessed using paired t-tests. Functional similarity and uniqueness were estimated using the Jaccard index and the fraction of uniqueness (fraction unique), respectively, by comparing the TZ to a “Global” functional space (SSF + MOF). A total of 170 species (36 families) were recorded, distributed as follows: 94 in SSF, 110 in MOF, and 113 in TZ. The TZ exhibited higher functional richness (FRic) compared to adjacent areas and greater dispersion (FDis) relative to MOF ($p < 0.05$). No significant differences were found in functional evenness (FEve), indicating similar abundance distributions within the functional space. Functional overlap between the TZ and the global space reached 72% (Jaccard), while the TZ presented 13% exclusive functional space, revealing traits not shared with the other two environments. We conclude that the conservation of transition zones between habitats especially within biodiversity hotspots is crucial for maintaining functional diversity in both natural and fragmented landscapes, thereby ensuring the persistence of a wide range of ecosystem functions essential to society. In this context, the degradation or loss of transition zones represents not only species loss but may also lead to functional extinctions, ultimately compromising the ability of ecosystems to perform critical functions and maintain ecological connectivity. Therefore, greater attention should be given to the conservation of transition zones.

KEY-WORDS: Functionality; Transition Zone; Atlantic Forest; Neotropical Birds; Functional Uniqueness.

RESUMO

Em um cenário global de declínio e homogeneização da biodiversidade, a ecologia funcional surge como uma ferramenta essencial para compreender as consequências das alterações antrópicas nos serviços ecossistêmicos. Este estudo investigou a estrutura funcional de comunidades de aves em uma Zona de Transição (ZT) entre a Floresta Estacional Semidecidual (FES) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM), no hotspot da Mata Atlântica do sul do Brasil. O objetivo foi avaliar se a comunidade de aves dessas áreas traduz-se em redundância ou em singularidade funcional, fatores determinantes para a resiliência regional dos ambientes. As comunidades foram amostradas pelo método de pontos de escuta. Foram utilizados dados morfológicos e ecológicos para a construção de hipervolumes de densidade de Kernel, calculando-se as métricas de Riqueza Funcional (FRic), Dispersão (FDis), Equitabilidade (FEve) e contribuição funcional. As diferenças entre ambientes foram analisadas via Teste t pareado. A similaridade e singularidade funcional foram estimadas pelo índice de Jaccard e pela fração de única (*fraction unique*) respectivamente, comparando-se a ZT a um espaço funcional "Global" (FES + FOM). Registramos um total de 170 espécies (36 famílias), distribuídas em: 94 na FES, 110 na FOM e 113 na ZT. A ZT apresentou maior riqueza funcional (FRic) em comparação às áreas adjacentes e maior dispersão (FDis) em relação à FOM ($p < 0,05$). Não houve diferença significativa na equitabilidade (FEve), indicando distribuições de abundância semelhantes no espaço funcional. A sobreposição funcional entre a ZT e o espaço Global foi de 72% (Jaccard), contudo, a ZT apresentou um espaço funcional exclusivo de 13%, evidenciando traços não compartilhados com os outros dois ambientes. Concluimos que a conservação de zonas de transição entre os habitats principalmente dentro de hotspots se mostram cruciais para a preservação da diversidade funcional em paisagens naturais e fragmentadas, garantindo a manutenção de uma ampla gama de funções ecossistêmicas fundamentais para a sociedade. Nesse contexto, a degradação ou perda das zonas de transição não representa apenas perda de espécies, mas também pode resultar em extinções funcionais, comprometendo a capacidade dos ecossistemas de desempenhar funções críticas, e de manter ligações entre si, neste sentido, maior atenção deveria ser dada à conservação de zonas de transição.

PALAVRAS-CHAVE: Funcionalidade; Zona de Transição; Mata Atlântica; Aves Neotropicais; Singularidade Funcional.

INTRODUÇÃO

Em um cenário global marcado pelo declínio acentuado e pela homogeneização da biodiversidade, a ecologia de comunidades tem buscado abordagens que transcendam a métrica numérica de espécies (Newbold et al. 2013; Newbold et al. 2014; Haddad et al. 2015). Nesse contexto, a abordagem funcional tem se destacado como uma ferramenta robusta, complementando as análises tradicionais baseadas estritamente na riqueza e composição taxonômica (Mace, 2014; Violle et al., 2014; Whittaker et al., 2014; Matuoka et al., 2020). A diversidade funcional aparece refletindo variações nos traços morfológicos, fisiológicos e comportamentais das espécies, atuando como uma métrica fundamental (Tilman, 2001; Laliberté & Legendre, 2010; Violle et al., 2007).

A relevância dessa perspectiva reside em sua capacidade preditiva. Ao focar nos traços biológicos das espécies, torna-se possível antecipar as consequências de alterações na biodiversidade e na manutenção de serviços ecossistêmicos, como o controle de insetos, queda de recursos pesqueiros e a propagação de doenças, frequentemente oriundas de impactos antrópicos sobre o funcionamento e a estabilidade dos ecossistemas (Hillebrand et al., 2008; Silvestri et al., 2013; Tolessa et al., 2017; Perevochtchikova et al., 2019; Matuoka et al., 2020). Para compreender a dinâmica desses processos em escalas espaciais regionais, as Zonas de Transição (ZT) aparecem como boas unidades de estudo. Diferente dos ecótonos tradicionais, que operam em escala local com transições abruptas, as ZTs manifestam-se em escalas regionais ou continentais, apresentando uma substituição gradual de espécies que resulta em comunidades mistas e ambientes mais heterogêneos (Kark & van Rensburg, 2006; Ferro & Morrone, 2014). Tais áreas atuam como centros evolutivos de especiação e reservatórios de alelos únicos das populações de espécies que vivem na

respectiva região geográfica, além de também funcionarem como zonas de amortecimento biológico (Smith et al. 1997; Smith et al. 2001; Smith et al. 2005; Odum, 2006).

A aplicação da abordagem funcional nestes ambientes é importante, pois, ao investigar a sobreposição de funções entre comunidades distintas podemos entender se a maior biodiversidade comumente observada nessas áreas de transição traduz-se em redundância funcional (maior resiliência) ou em uma singularidade de traços que, se perdidos por pressões antrópicas comprometeriam a funcionalidade regional entre diferentes ambientes (Mouillot et. al 2013; Oliver et al. 2015; Carmona et al. 2016)

Essas investigações tornam-se ainda mais críticas quando inseridas em hotspots de biodiversidade. Estas áreas concentram elevado endemismo, riqueza biológica, e enfrentam um histórico severo de degradação (Turner et al., 2007; Weller et al., 2019). Frequentemente, esses hotspots coincidem espacialmente com grandes metrópoles em expansão, tornando a manutenção de sua funcionalidade vital para a economia e saúde pública, uma vez que o bem-estar humano nesses centros depende de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação climática, recursos pesqueiros e o fornecimento de água (Fisher & Christopher, 2007; Hinata & Basso, 2022).

Dentre os hotspots globais, a Mata Atlântica destaca-se pela sua notável heterogeneidade ambiental e elevado grau de ameaça (Ribeiro et al., 2009; Vancine et al., 2024). Gradientes altitudinais e latitudinais favoreceram a formação de diferentes fitofisionomias ao longo da sua ampla distribuição latitudinal, como a Floresta Estacional Semidecidual (FES) e a Floresta Ombrófila Mista (FOM) no Sul do Brasil (IBGE, 2012). Embora compartilhem táxons, estudos indicam que FES e FOM sustentam comunidades biológicas distintas (Anjos et al., 2018). Avaliar a transição

entre essas florestas é importante, pois a fragmentação contínua desses habitats pode estar erodindo funções ecológicas únicas presentes justamente no gradiente de substituição de espécies, onde a complexidade estrutural é alta e o espaço funcional pode ser mais diversificado.

As aves constituem um excelente grupo modelo para essa investigação. Dada a sua sensibilidade a alterações ambientais e a variedade de funções que desempenham como dispersão de sementes, polinização e controle de invertebrados elas refletem diretamente a integridade do ecossistema (Sekercioglu et al., 2016). Embora a diversidade taxonômica da avifauna na Mata Atlântica seja extensivamente documentada (Anjos & Schuchmann, 1997; Oliveira et al., 2023; Anjos et al., 2024), e os estudos funcionais tenham crescido exponencialmente na última década, ainda há lacunas sobre como a organização funcional se comporta em zonas de transição florestal sob regimes de fragmentação.

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo investigar a diversidade funcional de comunidades de aves em localidades de FES, FOM e ZT entre estes tipos florestais na Mata Atlântica do sul do Brasil. Especificamente, buscamos:

- (I) Comparar a riqueza, dispersão, uniformidade e contribuição funcional entre as três localidades, prevendo que a ZT apresente maiores valores de diversidade funcional devido à maior heterogeneidade ambiental.
- (II) Avaliar a sobreposição e a singularidade do espaço funcional, testando se a zona de transição abriga um conjunto distinto de traços funcionais ou se apresenta um subconjunto do espaço funcional das outras duas áreas, presumindo que a ZT também apresente uma singularidade funcional maior que os outros dois ambientes.

2. Material e métodos

2.1 Áreas de estudo

A localidade em FES é o Parque Estadual Mata dos Godoy, (23°27'08"S 51°15'08"O) que é o maior e mais bem preservado fragmento florestal no norte do estado do Paraná, sul do Brasil (Anjos et al. 2007), localizado a 15 km do centro do município de Londrina e sobre o Trópico de Capricórnio, a reserva abrange 640 ha com até 1500 ha se considerado corredores florestais adjacentes, e é composta por floresta estacional semidecidual primária se encontrando a 600 metros do nível do mar (Torezan, 2006; Almeida et al. 2023). É uma formação vegetal marcada pela sazonalidade climática, com uma estação seca mais fria bem definida onde cerca de 20–50% das árvores perdem as folhas, o dossel é relativamente contínuo, com árvores de médio a grande porte, e algumas árvores emergentes. Em um raio de 5 km do Parque Estadual Mata dos Godoy, a cobertura florestal é de 40%, inserida em uma matriz predominantemente agrícola (53%), com presença de pastagem (5,2%) e silvicultura (<1).

A localidade em ZT é a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN; 23°56'8.38"S, 51°8'49.04"O; 310 ha) do Instituto Monte Sinai, município de Mauá da Serra, estado do Paraná, Brasil. A RPPN está localizada na Serra do Cadeado a ~1200 metros de altura onde ocupa uma zona de transição entre Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista, distando ~80 km das localidades de FES e FOM estudadas. A composição florística mescla elementos de ambas as fitofisionomias, com presença de *Araucaria angustifolia* e *Dicksonia* sp. (características de FOM) e *Aspidosperma polyneuron* e *Croton floribundus* (características de FES). No buffer de 5 km no entorno da Reserva do Instituto Monte

Sinai, a cobertura florestal é de 32%, enquanto a matriz não florestal (65%) divide-se entre agricultura (29%), silvicultura (23%) e pastagem (13%).

A localidade de FOM estudada é o Parque Ecológico da Klabin (24°21'002"S 50°34'011"O), se encontra a 1000 metros de altura e com aproximadamente 1000 ha, localizado dentro de uma área dos quais 91,6% são compostos por áreas de floresta nativa (veja Anjos et al. 2018 e Almeida et al. 2023 para mais detalhes). Essa fitofisionomia também é conhecida como Mata/Floresta de Araucária, é típica de clima subtropical úmido, sem estação seca definida. Sua estrutura é marcada pela *Araucaria angustifolia*, que compõe até 40% do estrato arbóreo. A área apresenta alta heterogeneidade florística, com influências de elementos tropicais e temperados (Maack, 1968). No entorno do Parque Ecológico da Klabin em um raio de 5 km, a cobertura florestal é de 54%, sendo a silvicultura a matriz predominante (37%), seguida por agricultura (4%), áreas urbanas (2%) e pastagens (1%).

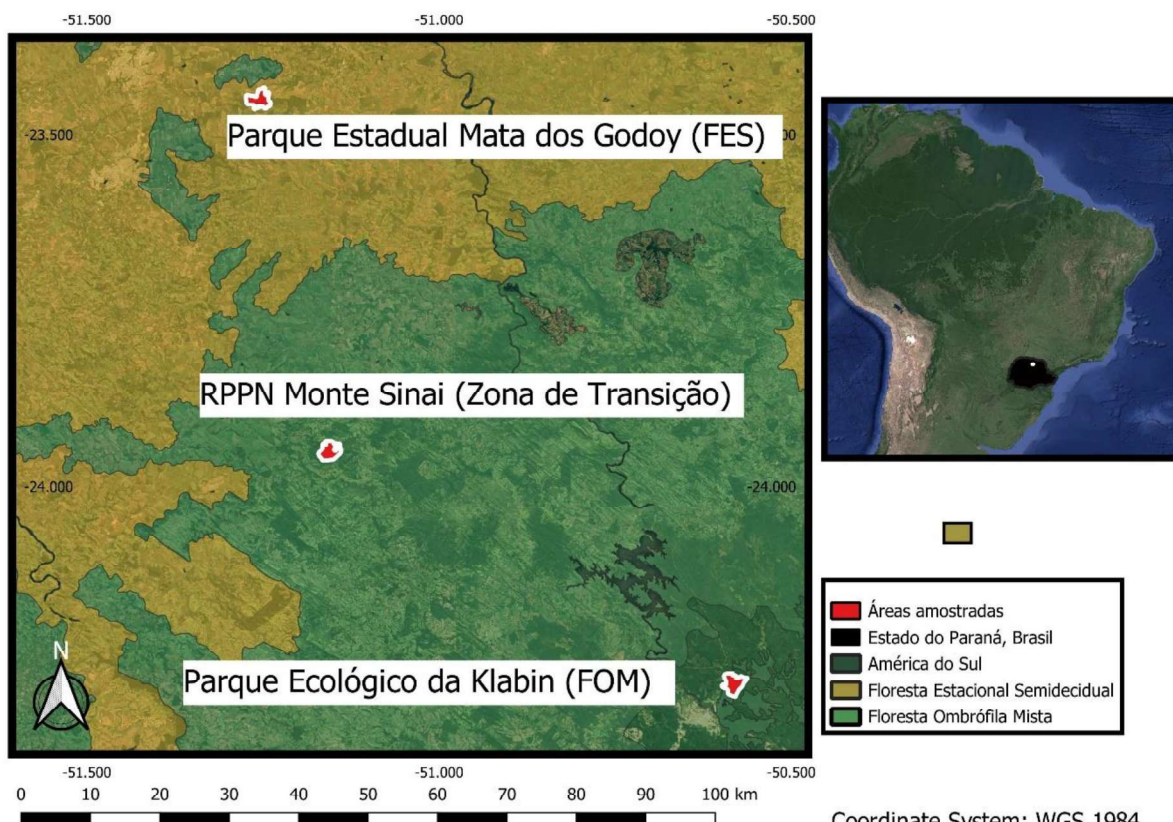


Fig 1: Região de Zona de Transição (ZT) entre Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Ombrófila Mista (FOM) na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Instituto Monte Sinai, norte do estado do Paraná, Brasil. Os polígonos vermelhos indicam as três áreas amostradas (Parque Estadual Mata dos Godoy, Zona de Transição da RPPN, Parque Ecológico da Klabin).

2.2 Amostragem de aves

As comunidades de aves foram amostradas utilizando o método de amostragem por pontos (Blondel et al. 1981; Bibby et al. 2000; Vielliard & Silva, 1990). No caso FES e FOM utilizou-se dados já publicados e apresentados em Almeida e colaboradores (2023) e que se referem às localidades, respectivamente, do Parque Estadual Mata dos Godoy e Parque Ecológico da Klabin. Para a ZT FES-FOM as amostragens de aves seguiram a mesma metodologia, de Almeida et al (2023), de modo a permitir a comparação entre as três localidades. Assim, a amostragem na ZT foi realizada utilizando o método de pontos de escuta (Vielliard & Silva, 1990; Anjos, 2007) ao longo de duas trilhas paralelas, separadas por 300 m, cada uma com seis pontos espaçados por 200 m. Cada ponto foi amostrado quatro vezes, duas na primavera e duas no verão, por 15 minutos cada com intervalo de 15 minutos entre uma amostragem e outra em setembro e dezembro de 2024 durante o período de maior atividade vocal das aves, de 06:30–09:30h. As amostragens ocorreram sempre na ausência de chuva e com vento inferior a 20 km/h.

Uma padronização de procedimentos no registro de espécies e indivíduos de aves foi desenvolvida em campo para garantir que os dados obtidos na ZT por M. E Bortolotti fossem comparáveis aos obtidos previamente nos locais de amostragem em FES e FOM por L. dos Anjos. Ambos os observadores fizeram pontos de escuta de

maneira simultânea em duas amostragens diferentes na primeira, a semelhança nas identificações de M.E Bortolloti foi de 92% com a de L. dos Anjos na primeira amostragem, e 98% na segunda ocasião. O cálculo de semelhança levou em conta o número de espécies, contatos e posição dos contatos nas fichas de pontos de escuta utilizadas no laboratório.

2.3 Características funcionais

A seleção das seis características funcionais (Tabela 1) baseou-se em sua relevância para descrever as estratégias ecológicas das aves e sua influência sobre processos ecossistêmicos chave. A morfologia do bico (comprimento, largura, profundidade) determina a eficiência de forrageio e o acesso a recursos específicos, como frutos ou artrópodes (Pigot et al., 2020). A morfologia corporal (asa e cauda) reflete a capacidade de manobra em ambientes estruturalmente complexos e a velocidade de voo (Fitzpatrick, 1981; Videler, 2006; Tobias et al., 2022). A massa corporal, por sua vez, está relacionada às demandas energéticas, a posição trófica e à sensibilidade das espécies a distúrbios ambientais (Bregman et al., 2016). Adicionalmente, características ecológicas como dieta e estratificação vertical indicam, respectivamente, os papéis funcionais tróficos, como controle de pragas, dispersão de sementes e a partição de nicho associada ao uso do espaço vertical da floresta (Newbold et al., 2013).

Os traços funcionais foram obtidos primariamente das bases AVONET (Tobias et al., 2022) e EltonTraits (Wilman et al., 2014). Contudo, visando uma análise mais robusta e aderente à realidade ecológica local, realizamos refinamentos nas classificações originais de Wilman et al. (2014). Baseando-nos em dados empíricos locais e ampla revisão bibliográfica (Bierregard, 1994; Sick, 1997; Bates, 1998; del

Hoyo et al., 2003; Martin et al., 2004; Repenning et al., 2009; Bentz et al., 2010; Erritzøe et al., 2012), implementamos duas modificações principais: (1) a subdivisão da guilda de invertívoros em consumidores de “invertebrados tóxicos” (para incluir larvas de pergidae e de lepidóptera que são extremamente tóxicos e evitados pela maioria dos animais) e “outros invertebrados”; (para incluir todos os outros invertebrados que não puderam ser categorizados) e (2) a inclusão de três estratégias específicas de forrageio, representando comportamentos especializados frequentemente sub-representados em classificações funcionais amplas: (i) climber, espécies de aves que forrageiam escalando troncos, galhos ou superfícies verticais, utilizando movimentos ascendentes ou laterais para procurar e capturar presas na casca, fissuras ou vegetação; (ii) drills, espécies que utilizam a perfuração de troncos para capturar presas sob a casca; e (iii) dry leaves, espécies que exploram folhas secas retidas na vegetação para localizar invertebrados. Tais ajustes foram padronizados conforme os protocolos de Wilman et al. (2014) e visam representar com maior acurácia a funcionalidade de grupos especializados, como Dendrocolaptinae, Philydorinae e Picidae (Material Suplementar 1).

A combinação multidimensional dessas características funcionais permite identificar trade-offs ecológicos (por exemplo, espécies de bico curto/largo associadas a dietas específicas como o controle de pragas), prever respostas a mudanças ambientais (regeneração florestal pode ser afetada), e mapear funções ecológicas associadas à provisão de serviços ecossistêmicos (Ribon et al. 2003, Bonfim et al. 2021).

Tab 1. Características funcionais das aves analisadas na avaliação da diversidade funcional entre Floresta Estacional Semidecidual (FES), Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Zona de Transição (ZT) na Mata Atlântica do sul do Brasil. Dados morfológicos e ecológicos foram obtidos das bases AVONET (Tobias *et al.*, 2022) e EltonTraits (Wilman *et al.*, 2014), com refinamentos baseados em literatura especializada.

Característica	Definição	Fonte
Bico	Comprimento, largura e profundidade (mm)	AVONET
Morfologia corporal	Comprimento da asa e da cauda (mm)	AVONET
Massa	Peso médio da espécie (g)	AVONET
Dieta	Porcentagem no consumo de invertebrados, vertebrados, frutas, néctar e sementes	EltonTraits
Estratificação vertical	Porcentagem no uso de solo, sub-bosque, sub-copa, copa e ambiente aéreo	EltonTraits
Estratégia de Forrageio	Climber, drills e dry leaves	Handbook of the Birds of the World

2.4 Análise de dados

O Índice Pontual de Abundância (IPA) foi calculado para cada espécie em cada ponto amostral como a razão entre o número total de contatos registrados para a espécie e o total de vezes que o ponto foi amostrado (duas na primavera e duas no verão), multiplicado por 100 (Vielliard & Silva, 1990; Vielliard & Anjos, 2010). As riquezas gerais das espécies das comunidades foram comparadas entre habitats utilizando o *Teste t* de Student ($\alpha = 0,05$) no *software* PAST v4.03 (Hammer & Harper, 2001) além de uma curva de rarefação e extrapolação pelos números de Hill utilizando o pacote iNext do *software* R.

Para as análises funcionais, os traços contínuos foram primeiramente padronizados (média 0, desvio padrão 1) para equalizar seus pesos relativos. Adotamos a abordagem de hipervolumes n-dimensionais baseados em densidade de kernel (Mammola & Cardoso, 2020) para quantificar a diversidade funcional, incorporando os valores de IPA como ponderação de abundância. Calculamos três métricas principais: (i) Riqueza Funcional, representada pelo volume total do espaço funcional ocupado pela comunidade; (ii) Dispersão Funcional, medida pela distância média dos elementos estocásticos em relação ao centróide do hipervolume; e (iii) Equitabilidade (Uniformidade) Funcional, que expressa a regularidade da distribuição de abundâncias dentro do hipervolume. As diferenças dessas métricas entre os ambientes foram avaliadas via *Teste t* pareado ($\alpha = 0,05$). A análise de contribuição funcional das espécies foi avaliada com base em sua influência relativa sobre a estrutura do hipervolume funcional, integrando informações de abundância relativa (IPA) e distinção de traços. Essa abordagem permite quantificar a importância

funcional relativa de cada espécie dentro da comunidade (Carmona et al., 2016; Mammola & Cardoso, 2020).

A similaridade funcional entre ambientes foi estimada pelo índice de Jaccard, com valores variando de 0 (nenhuma sobreposição) a 1 (sobreposição completa). Nessa análise a comunidade de aves da FES e Fom foram combinadas em uma comunidade e espaço funcional global que foram comparados com a ZT. Para identificar a exclusividade da comunidade global e da ZT calculamos a fração de singularidade (fraction unique), que representa a fração do volume funcional exclusivo de um hábitat não compartilhado com os demais (Mammola & Cardoso, 2020).



Fig 2: Os valores numéricos das amostragens por pontos nas três áreas de estudo são baseados nos resultados do terminal (arredondados). Jaccard = Interseção/União Total. As frações únicas são normalizadas em relação ao volume de cada conjunto individual Exclusivo de A/ Total presente em A.

3. RESULTADOS

Foram registradas 170 espécies de aves de 36 famílias: 94 espécies na FES, 110 na FOM e 113 no ZT. A extrapolação pelos números de Hill indicou 195 espécies e 86% de eficiência amostral para as três localidades (Fig 2). Individualmente os valores de suficiência amostral foram 83,68% na ZT; 86,95% na FES; e 77,61% na FOM. ZT e FOM tiveram riqueza de espécies estatisticamente iguais (Teste t, $p = 0,73$) e maiores que FES (Teste t, $p < 0,05$).

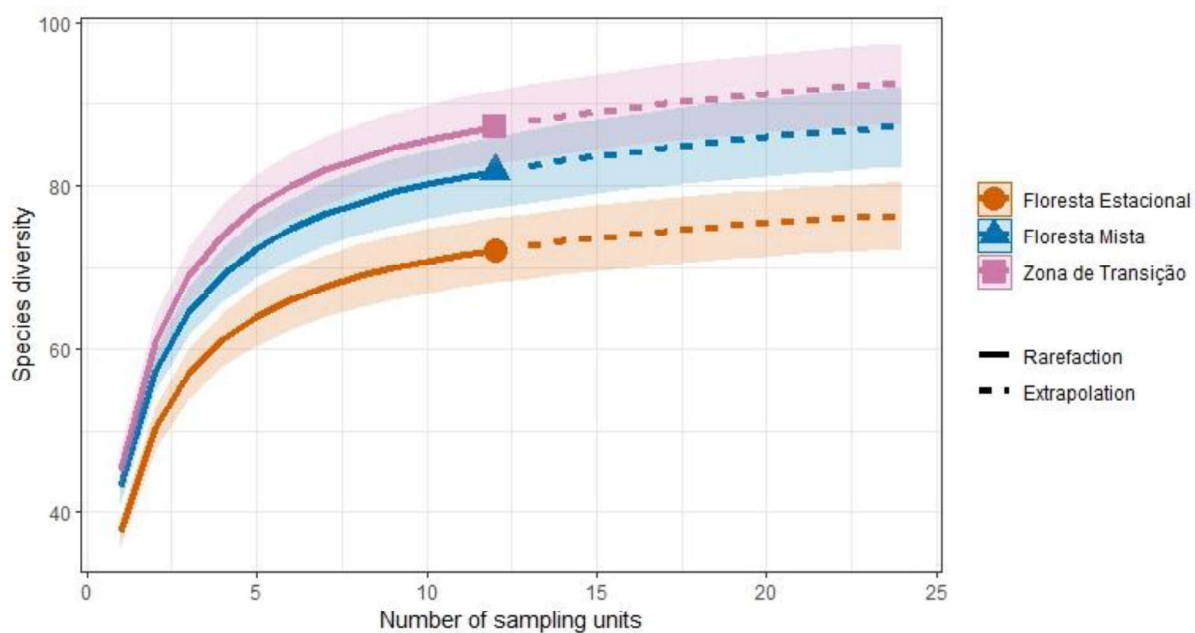


Fig 3. Curva de rarefação e extrapolação das espécies com base nos números de Hill, $q=1$. Linha laranja representa a Zona de Transição (ZT), linha Azul a Floresta Mista (FOM) e a linha Roxa a Floresta Estacional (FES).

A ZT apresentou valores significativamente maiores de riqueza funcional (FRic) comparado a FES e FOM, e de dispersão funcional (FDis) comparado apenas a FOM (Teste t $p < 0,05$; Fig. 4). FES apresentou maior valor de FDis que FOM (Teste t $p < 0,05$). Por outro lado, a equitabilidade funcional (FEve) não variou significativamente entre os habitats (Teste t $p > 0,05$), sugerindo distribuições de abundâncias semelhantes nos espaços funcionais (Fig. 3).

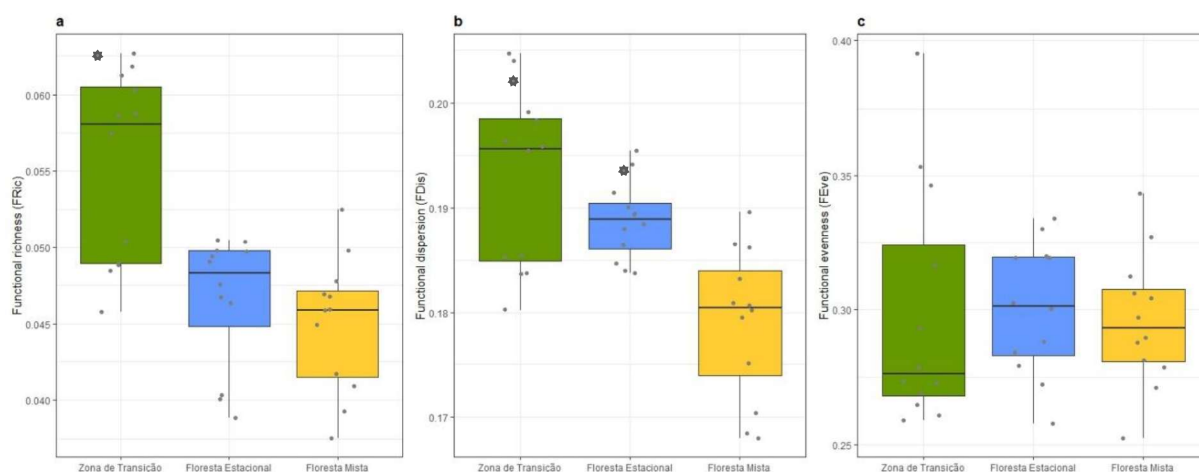


Fig 4. a= Riqueza funcional (FRic), b= dispersão funcional (FDis) e c= equitabilidade funcional (FEve) das comunidades de aves na Floresta Estacional (FES), Floresta Mista (FOM) e Zona de Transição (ZT) na Mata Atlântica do sul do Brasil. Os valores foram calculados utilizando *Kernel-density hypervolumes*, com diferenças significativas indicadas por asteriscos ($p < 0,05$). Os elementos do boxplot são indicados por medianas (linhas horizontais), intervalos interquartis (barras coloridas) e amplitudes dos dados (linhas verticais).

Espaço Global vs Zona de Transição

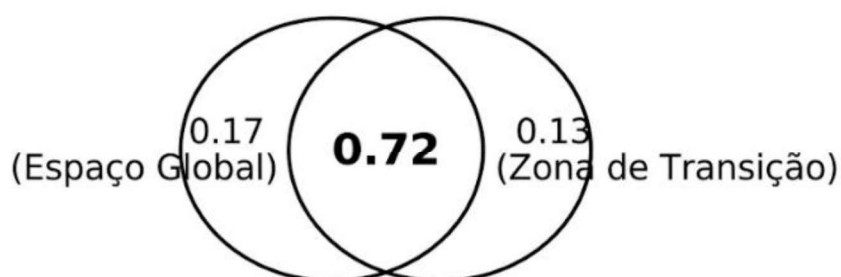


Fig 5. Diagrama de Veen da sobreposição funcional segundo o índice de Jaccard (similaridade) (valores no centro) e Unique Fraction (fração única/singularidade) entre os ambientes (valores das bordas) considerando os dados do Parque Estadual Mata dos Godoy

e o Parque da Klabin combinados (espaço global) e comparados com os da Reserva Instituto Monte Sinai (zona de transição). A soma dos valores das frações únicas e da similaridade não possuem a obrigatoriedade de resultar em 1 (um) já que são duas análises diferentes que usam denominadores de cálculo diferentes.

A sobreposição funcional da ZT com a FES e FOM (Global) resultaram no valor de Jaccard variando de 0.72 (72%) (veja Fig 4). A análise da fração de singularidade funcional (Fra 1 e Fra 2) revela a proporção de traços funcionais que são exclusivos de cada ambiente em relação ao outro, Global X ZT: Global 17% ZT 13%.

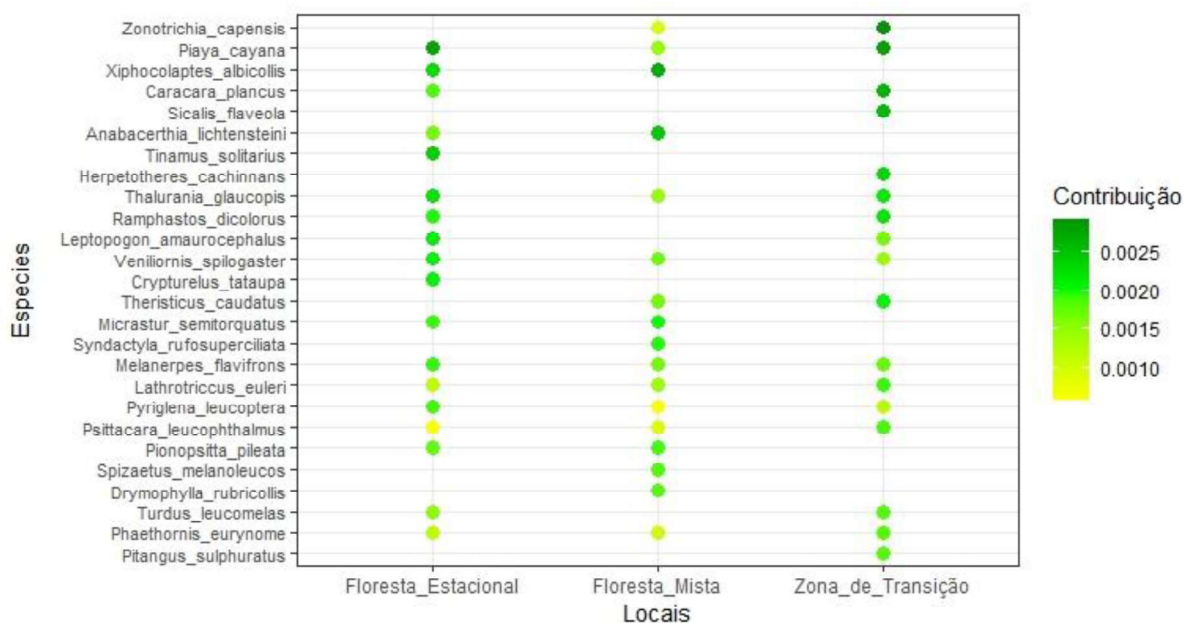


Fig 6. Valores de contribuição das 25 espécies de aves que mais contribuíram na diversidade funcional das comunidades nos três locais estudados FES, FOM e ZT.

A mesma espécie pode ter valores de contribuição diferentes em diferentes ambientes em função de diferenças de abundâncias nos diferentes locais, como *Zonotrichia capensis* e

Pyriglena leucoptera, *Z. capensis* foi a espécie que mais contribuiu na ZT enquanto que na FOM ficou na 60ª posição na contribuição, *P. leucoptera* ficou na 53ª posição na ZT enquanto que na FES e FOM ficou nas posições de 31ª e 82ª respectivamente. Também existem espécies com traços muito singulares e que desempenham uma alta contribuição independente de uma baixa ou alta abundância, como *Piaya cayana* e *Ramphastos dicolorus*. *P. cayana* ficou nas posições de 27ª na FOM, e 2ª na ZT enquanto que *R. dicolorus* ficou na 6ª posição na ZT e 29ª na FES. Há espécies com traços únicos e exclusivas de apenas um ambiente, por exemplo na FOM *Spizaetus melanoleucos* ficou na 6ª posição e *Syndactyla rufosuperciliata* ficou na 4ª posição, *Tinamus solitarius* ficou na 16ª posição na FES e *Herpetotheres cachinnans* que ficou na 5ª posição na ZT. Nenhuma dessas espécies foram registradas e mais de um ambiente e contribuíram significativamente para a estrutura funcional local dos ambientes onde foram registradas.

4. DISCUSSÃO

Registramos 170 espécies de aves de 36 famílias: 94 espécies na FES, 110 na FOM e 113 no ZT. A extrapolação pelos números de Hill com $q=1$ indicou 195 espécies e 86% de eficiência amostral para as três localidades além de que FOM e ZT não diferem na riqueza entre si, mas ambas diferem nesse aspecto em relação a FES.

Nossos resultados indicam que a ZT abriga uma maior riqueza funcional em comparação às áreas adjacentes do hotspot de Mata Atlântica. Embora fosse esperada também uma maior dispersão e uniformidade funcional nessa transição, apenas a dispersão se mostrou maior em relação a FOM, enquanto uniformidade não apresentou diferença estatisticamente significativa entre nenhuma das três áreas. A sobreposição dos espaços funcionais foi de mais de 72% de similaridade entre a ZT e as áreas de FES e FOM (Espaço Global), mas, com a presença de um espaço funcional exclusivo

na ZT, (13%) não compartilhado com os demais ambientes que juntos tiveram uma singularidade funcional de 17%. Por fim, a maior riqueza taxonômica na ZT foi apenas parcialmente confirmada, sendo observada em relação à Floresta Estacional Semidecidual (FES), mas não em comparação à Floresta Ombrófila Mista (FOM). Embora a riqueza de espécies tenha sido ligeiramente maior na ZT em comparação com a FES, essa diferença não foi estatisticamente significativa em relação à FOM. A análise dos números de Hill extrapolou a riqueza para 195 espécies, indicando que aproximadamente 86% das espécies previstas foram amostradas (veja Fig 2).

A elevada riqueza funcional na ZT (Fig 3) sugere que esta suporta uma gama mais ampla de nichos. Isso corrobora a hipótese de que zonas de transição, em função de representar um mosaico, promovem a coexistência de espécies de comunidades distintas, resultando em maior diversidade de traços (Pigot et al. 2016; Altamirano et al. 2020; Anjos & Almeida, 2020). A sobreposição de características ambientais das duas fitofisionomias do hotspot cria um mosaico de habitats que favorece tanto espécies florestais da FES e FOM quanto também espécies de áreas abertas e de borda dando uma característica mais heterogênea ao habitat. Na visão da teoria da coexistência, esse aumento da heterogeneidade ambiental amplia as oportunidades para partição de nicho (Chesson e Warner 1981; Price et al. 2017; Stark et al. 2017; Towers & Dwyer, 2018). Em contrapartida, a menor riqueza funcional na FES e na FOM aponta para comunidades mais homogêneas, onde a estrutura ambiental, menos heterogênea em relação à ZT, atua como principal filtro ambiental, limitando a diversidade de traços (Torezan, 2006; Anjos et al., 2018). Apesar da maior riqueza e dispersão de traços na ZT (essa última apenas em relação a FOM), a uniformidade funcional (FEve) não diferiu significativamente entre as áreas, mantendo-se baixa. Isso indica que a abundância não é uniformemente distribuída no espaço funcional,

havendo provável dominância de certas funções sobre outras (Mason et al. 2005; Schwartz et al. 2000; Stachowicz et al. 2002; Mattingly et al. 2007; Schleuter et al. 2010).

A sobreposição de 72% do espaço funcional da ZT com a FES e FOM (Espaço Global) era esperado já que abriga características sobrepostas das duas áreas (Odum, 1997; Kemp, 2000; Kemp e Benzoni, 2000; Kitzberger, 2012). Porém, os dados apresentados aqui sugerem que ZT também abriga uma parcela única de espécies. Na verdade, a fração única funcional de ZT quando comparado aos dois outros tipos de floresta está em 13% enquanto que a parcela global tem uma singularidade de 17%. Assim, a ZT abriga um encontro de linhagens evolutivas que formam um hábitat que abriga um conjunto único de traços funcionais, possivelmente associados a espécies generalistas e de borda que exploram a heterogeneidade do ambiente (Hermogenes de Mendonça & Ebach, 2020; Altamirano et al., 2020). A singularidade funcional da ZT confirma seu papel como um ambiente que adiciona diversidade funcional à paisagem e a sua preservação pode ser vital para a manutenção da singularidade funcional associada à transição e à heterogeneidade, funcionando como “costuras funcionais”, isto é, que permitem a sobrevivência de espécies de florestas distintas e servindo então como ligação de funções entre as duas comunidades de FES e FOM do hotspot.

A análise de contribuição funcional destaca a importância de espécies dominantes, que sustentam altas taxas de processos ecológicos (Smith & Knapp, 2003), e espécies mais raras e funcionalmente mais únicas, essenciais para serviços específicos, já que trabalhos como de dos Anjos e colaboradores (2023) e Mouillot e colaboradores (2013) mostram que espécies raras tem uma funcionalidade desproporcional (Anjos et al. 2023) e desempenham funções mais vulneráveis na

comunidade em ambientes de alta diversidade em relação as dominantes dadas suas abundâncias e seus traços (Mouillot et al. 2013). A perda de espécies com funções mais originais na comunidade pode comprometer funções insubstituíveis, como o controle de presas específicas ou forrageamento em substratos exclusivos (Zavaleta e Hulvey, 2004; Mouillot et al. 2013; Matuoka et al. 2020; Basile, 2022).

A extinção funcional de especialistas em dieta como *Piaya cayana* (predador de insetos tóxicos) ou *Herpetotheres cachinnans* (ofiófago) alteraria serviços ecossistêmicos mesmo na persistência de generalistas ou outras espécies mais abundantes (Isbell et al. 2011; Whelan et al. 2016). Ao aproximarmos as funções desempenhadas pelas espécies de suas realidades ecológicas, aumentamos nosso potencial de preservar não apenas a biodiversidade, mas também os serviços ecossistêmicos dos quais uma espécie e as populações humanas dependem (Pakeman, 2014; Duncan et al. 2015; Streit & Bellwood, 2023).

Na ZT foram registradas 22 espécies de aves cuja análise da distribuição da abundância em florestas do sul do Brasil indicou associação maior com FES. Em contrapartida, houveram 11 espécies registradas na área de transição que foram associadas a FOM (ver Anjos et al. 2018). Isto sugere que a área de transição abriga quase 30% de espécies de aves, do total de 113 registradas, as quais estão mais associadas mais diretamente a FES ou FOM, demonstrando a influência destes tipos florestais na estrutura da sua comunidade (Material suplementar 1). A elevada diversidade funcional na ZT é um resultado direto dessa interação não havendo uma completa substituição ou perda de traços funcionais das comunidades. A conservação de zonas de transição entre os habitats adjacentes principalmente dentro de hotspots se mostram cruciais para a preservação da diversidade funcional em paisagens naturais e fragmentadas, garantindo a manutenção de uma ampla gama de funções

ecossistêmicas fundamentais para a humanidade (Hinata & Basso, 2022). Nesse contexto, a degradação ou perda das zonas de transição não representa apenas perda de espécies, mas também pode resultar em extinções funcionais, comprometendo a capacidade dos ecossistemas de desempenhar funções críticas, e de manter relações entre si (Liataud et al. 2020). Neste sentido, maior atenção deveria ser dada à conservação de zonas de transição.

Tabela 2. Lista das espécies e famílias registradas em cada um dos três ambientes estudados.

Família	Espécie	ZT	FES	FOM
Accipitridae	<i>Ictinia plumbea</i>	1	1	0
	<i>Leptodon cayanensis</i>	1	0	0
	<i>Rupornis magnirostris</i>	0	1	0
	<i>Spizaetus melanoleucos</i>	0	0	1
Aramidae	<i>Aramides saracura</i>	0	1	0
Caprimulgidae	<i>Lurocalis semitorquatus</i>	0	1	1
Cardinalidae	<i>Cyanoloxia brissoni</i>	0	0	1
	<i>Habia rubica</i>	0	1	1
	<i>Piranga flava</i>	0	0	1
Columbidae	<i>Claravis pretiosa</i>	0	1	0
	<i>Geotrygon montana</i>	1	1	1
	<i>Leptotila rufaxilla</i>	1	1	1
	<i>Leptotila verreauxi</i>	1	1	1
	<i>Patagioenas cayennensis</i>	1	1	1
	<i>Patagioenas picazuro</i>	1	1	1
Conopophagidae	<i>Conopophaga lineata</i>	1	0	1
Cotingidae	<i>Procnias nudicollis</i>	0	0	1
Cracidae	<i>Penelope superciliaris</i>	1	1	0
Cuculidae	<i>Coccyzus americanus</i>	0	1	1
	<i>Piaya cayana</i>	1	1	1
	<i>Tapera naevia</i>	1	1	1
Falconidae	<i>Caracara plancus</i>	1	1	0
	<i>Herpetotheres cachinnans</i>	1	0	0
	<i>Micrastur ruficollis</i>	0	0	1
	<i>Micrastur semitorquatus</i>	0	1	1
	<i>Milvago chimachima</i>	0	0	1
Formicariidae	<i>Chamaeza campanisona</i>	0	1	1
Fringillidae	<i>Chlorophonia cyanea</i>	1	0	0
	<i>Euphonia chalybea</i>	0	0	1
	<i>Euphonia chlorotica</i>	1	0	1
	<i>Euphonia violacea</i>	0	0	1
Furnariidae	<i>Anabacerthia amaurotis</i>	0	0	1
	<i>Anabacerthia lichtensteini</i>	0	1	1
	<i>Automolus leucophthalmus</i>	0	1	0
	<i>Cranioleuca obsoleta</i>	1	1	1

	<i>Dendroma_rufa</i>	1	1	0
	<i>Heliobletus_contaminatus</i>	1	0	1
	<i>Leptasthenura_setaria</i>	0	0	1
	<i>Synallaxis_cinerascens</i>	1	0	1
	<i>Synallaxis_ruficapilla</i>	1	1	1
	<i>Synallaxis_spixi</i>	1	0	0
	<i>Syndactyla_rufosuperciliata</i>	0	0	1
	<i>Xenops_rutilans</i>	1	1	0
	<i>Dendrocincla_fuliginosa</i>	0	1	0
	<i>Dendrocolaptes_platyrostris</i>	1	1	1
	<i>Sittasomus_griseicapillus</i>	1	1	1
	<i>Xiphocolaptes_albicollis</i>	0	1	1
	<i>Xiphorhynchus_fuscus</i>	0	1	1
Grallariidae	<i>Grallaria_varia</i>	1	1	1
Icteridae	<i>Cacicus_chrysopterus</i>	1	0	1
	<i>Cacicus_haemorrhous</i>	1	1	1
	<i>Molothrus_bonariensis</i>	1	0	0
Momotidae	<i>Baryphthengus_ruficapillus</i>	1	1	1
Parulidae	<i>Basileuterus_culicivorus</i>	1	1	1
	<i>Setophaga_pitiayumi</i>	1	0	1
	<i>Myiothlypis_leucoblephara</i>	1	1	1
Passerellidae	<i>Zonotrichia_capensis</i>	1	0	1
	<i>Arremon_flavirostris</i>	1	0	0
Picidae	<i>Celeus_flavescens</i>	0	0	1
	<i>Colaptes_melanochlorus</i>	1	1	1
	<i>Dryocopus_lineatus</i>	1	1	1
	<i>Melanerpes_candidus</i>	1	0	0
	<i>Melanerpes_flavifrons</i>	1	1	1
	<i>Piculus_aurulentus</i>	1	0	0
	<i>Picumnus_teminckii</i>	1	1	0
	<i>Veniliornis_spilogaster</i>	1	1	1
Pipridae	<i>Chiroxiphia_caudata</i>	1	1	1
Psittacidae	<i>Amazona_aestiva</i>	0	1	0
	<i>Amazona_vinacea</i>	0	0	1
	<i>Aratinga_auricapillus</i>	1	1	0
	<i>Brotogeris_chiriri</i>	1	0	0
	<i>Brotogeris_tirica</i>	0	1	1
	<i>Forpus_xanthopterygius</i>	1	0	0

	<i>Pionopsitta_pileata</i>	0	1	1
	<i>Pionus_maximiliani</i>	0	1	1
	<i>Psittacara_leucophthalmus</i>	1	1	1
	<i>Pyrrhura_frontalis</i>	1	1	1
Ramphastidae	<i>Pteroglossos_bailonii</i>	1	0	0
	<i>Ramphastos_dicolorus</i>	1	1	0
	<i>Selenidera_maculirostris</i>	0	1	0
Rhinocryptidae	<i>Eleoscytalopus_indigoticus</i>	0	0	1
	<i>Psilorhamphus_guttatus</i>	1	0	0
Strigidae	<i>Glaucidium_brasilianum</i>	1	1	1
Thamnophilidae	<i>Batara_cinerea</i>	1	0	1
	<i>Drymophylla_malura</i>	0	0	1
	<i>Drymophylla_rubricollis</i>	0	0	1
	<i>Dysithamnus_mentalis</i>	0	1	1
	<i>Herpsilochmus_rufimarginatus</i>	0	1	1
	<i>Hypoedaelus_guttatus</i>	0	1	0
	<i>Mackenziaena_severa</i>	1	1	0
	<i>Makenziaena_leachi</i>	0	1	0
	<i>Pyriglena_leucoptera</i>	1	1	1
	<i>Thamnophilus_caerulescens</i>	1	1	1
Thraupidae	<i>Cissopis_leverianus</i>	1	0	0
	<i>Coereba_flaveola</i>	0	0	1
	<i>Conirostrum_speciosum</i>	1	1	1
	<i>Coryphospingus_cucullatus</i>	1	0	0
	<i>Haplospiza_unicolor</i>	1	0	0
	<i>Hemithraupis_guira</i>	1	0	0
	<i>Microspingus_cabanisi</i>	1	0	0
	<i>Pipraeidea_melanonota</i>	0	1	1
	<i>Saltator_fuliginosus</i>	1	1	0
	<i>Saltator_similis</i>	1	1	1
	<i>Sicalis_flaveola</i>	1	0	0
	<i>Stephanophorus_diadematus</i>	1	0	0
	<i>Stilpinia_preciosa</i>	1	0	1
	<i>Tachyphonus_coronatus</i>	1	0	1
	<i>Tersina_viridis</i>	1	1	0
	<i>Thlypopsis_pyrrhocoma</i>	0	0	1
	<i>Thraupis_sayaca</i>	1	1	1
	<i>Trichothraupis_melanops</i>	1	1	1

Tinamidae	<i>Crypturellus_obsoletus</i>	1	1	1
	<i>Crypturellus_parvirostris</i>	0	1	0
	<i>Crypturellus_tataupa</i>	0	1	0
	<i>Tinamus_solitarius</i>	0	1	0
Tityridae	<i>Pachyramphus_castaneus</i>	0	1	1
	<i>Pachyramphus_polychopterus</i>	0	0	1
	<i>Pachyramphus_validus</i>	1	0	1
	<i>Pachyramphus_viridis</i>	1	0	0
	<i>Schiffornis_virescens</i>	0	0	1
	<i>Tityra_cayana</i>	1	1	1
	<i>Tityra_inquisitor</i>	1	1	1
Trochilidae	<i>Chlorostilbon_lucidus</i>	1	0	0
	<i>Florisuga_fusca</i>	1	0	0
	<i>Hylocharis_chrysura</i>	1	0	0
	<i>Leucochloris_albicollis</i>	1	0	1
	<i>Phaethornis_eurynome</i>	1	1	1
	<i>Phaethornis_pretrei</i>	1	0	0
	<i>Thalurania_glaucopis</i>	1	1	1
Trogonidae	<i>Trogon_chrysochloros</i>	1	1	1
	<i>Trogon_surrucura</i>	1	1	1
	<i>Trogon_viridis</i>	0	1	1
Turdidae	<i>Turdus_albicollis</i>	1	0	1
	<i>Turdus_amaurochalinus</i>	1	1	1
	<i>Turdus_leucomelas</i>	1	1	0
	<i>Turdus_rufiventris</i>	1	1	1
Tyrannidae	<i>Camptostoma_obsoletum</i>	1	1	1
	<i>Capsiempis_flaveola</i>	1	0	0
	<i>Colonia_colonus</i>	0	1	0
	<i>Corytops_delalandi</i>	0	1	0
	<i>Elaenia_mesoleuca</i>	0	0	1
	<i>Empidonomus_varius</i>	1	0	0
	<i>Hemitriccus_nidipendulus</i>	0	0	1
	<i>Hemitriccus_obsoletus</i>	0	0	1
	<i>Lathrotriccus_euleri</i>	1	1	1
	<i>Legatus_leucophaeus</i>	0	0	1
	<i>Leptopogon_amaurocephalus</i>	1	1	0
	<i>Megarynchus_pitangua</i>	1	1	1
	<i>Mionectes_rufiventris</i>	1	0	1

	<i>Myiarchus_swainsoni</i>	1	1	1
	<i>Myiarchus_tyrannulus</i>	1	0	0
	<i>Myiodynastes_maculatus</i>	1	1	1
	<i>Myiopagis_caniceps</i>	1	1	1
	<i>Myiophobus_fasciatus</i>	1	0	1
	<i>Myiornis_auricularis</i>	0	1	1
	<i>Phyllomyias_burmesteri</i>	1	0	0
	<i>Phylloscartes_ventralis</i>	1	0	1
	<i>Pitangus_sulphuratus</i>	1	0	0
	<i>Platyrinchus_mystaceus</i>	1	0	1
	<i>Ramphotrigon_megacephalum</i>	1	0	0
	<i>Serpophaga_subcristata</i>	1	0	0
	<i>Sirystes_sibilator</i>	1	1	1
	<i>Tachuris_rubrigastra</i>	0	0	1
	<i>Tolmomyias_sulphurescens</i>	1	1	1
	<i>Tyrannus_melancholicus</i>	1	0	0
Vireonidae	<i>Cyclarhis_gujanensis</i>	1	1	1
	<i>Vireo_chivi</i>	1	1	1
Corvidae	<i>Cyanocorax_chrysops</i>	0	1	1
Threskiornithidae	<i>Theristicus_caudatus</i>	1	0	1
Charadriidae	<i>Vanellus_chilensis</i>	1	0	0

5. REFERÊNCIAS

Almeida, B. A., Bochio, G. M., Calsavara, L. C., Marques, F. C., & Anjos, L. (2023). Seasonality in niche occupation revealed through bird community functional structure in the southern Atlantic rainforest. *Ibis*, 165(3), 986–997.

Altamirano, T. A., de Zwaan, D. R., Ibarra, J. T., Wilson, S., & Martin, K. (2020). Treeline ecotones shape the distribution of avian species richness and functional diversity in south temperate mountains. *Scientific Reports*, 10(1), 18428.

Basile, M. (2022). Rare species disproportionately contribute to functional diversity in managed forests. *Scientific Reports*, 12(1), 5897.

Bates, J. M. (1998). *Handbook of the Birds of the World. Vol. 4: Sandgrouse to Cuckoos*. Ornithological Applications, 100(4), 769.

Bentz, B. J., Régnière, J., Fettig, C. J., Hansen, E. M., Hayes, J. L., Hicke, J. A., Kelsey, R. G., Negrón, J. F., & Seybold, S. J. (2010). Climate change and bark beetles of the western United States and Canada: Direct and indirect effects. *BioScience*, 60(8), 602–613.

Bibby, C. J. (2000). *Bird census techniques*. London, UK: Academic Press.

Bierregaard, R. O. (1994). Family Falconidae. In J. del Hoyo, A. Elliott, & D. A. Christie (Eds.), *Handbook of the Birds of the World: Vol. 2. New World Vultures to Guinea-fowl* (pp. 216–275). Barcelona, Spain: Lynx Edicions.

Blondel, J., Ferry, C., & Frochot, B. (1981). Point counts with unlimited distance. *Studies in Avian Biology*, 6, 414–420.

Bonfim, F. C. G., Dodonov, P., & Cazetta, E. (2021). Landscape composition is the major driver of the taxonomic and functional diversity of tropical frugivorous birds. *Landscape Ecology*, 36, 2535–2547.

Bregman, T. P., Lees, A. C., MacGregor, H. E., Darski, B., de Moura, N. G., Aleixo, A., & Tobias, J. A. (2016). 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*, 283(1844), 20161289.

Brown, J. H., & Lomolino, M. V. (1998). *Biogeography*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

Calsavara, L. C., Lima, M. R., Bochio, G. M., Medeiros, H. R., & dos Anjos, L. (2024). Bird communities are more functionally redundant in less disturbed Araucaria forest. *Ornithology Research*, 32(1), 70–77.

Carmona, C. P., de Bello, F., Mason, N. W. H., & Lepš, J. (2016). Traits without borders: Integrating functional diversity across scales. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(5), 382–394.

Carmona, C. P., de Bello, F., Sasaki, T., Uchida, K., & Pärtel, M. (2017). Towards a common toolbox for rarity: A response to Violle et al. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(12), 889–891.

Carvajal-Cogollo, J. E., & Urbina-Cardona, N. (2015). Ecological grouping and edge effects in tropical dry forest: reptile-microenvironment relationships. *Biodiversity and Conservation*, 24, 1109–1130.

Casas, G., Darski, B., Ferreira, P. M., Kindel, A., & Müller, S. C. (2016). Habitat structure influences the diversity, richness and composition of bird assemblages in successional Atlantic rain forests. *Tropical Conservation Science*, 9(1), 503–524.

Chesson, P. L., & Warner, R. R. (1981). Environmental variability promotes coexistence in lottery competitive systems. *The American Naturalist*, 117(6), 923–943.

Cincotta, R. P., Wisnewski, J., & Engelman, R. (2000). Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*, 404(6781), 990–992.

Connell, J. H., & Orias, E. (1964). The ecological regulation of species diversity. *The American Naturalist*, 98(903), 399–414.

del Hoyo, J., Elliott, A., & Christie, D. A. (Eds.). (2003). *Handbook of the Birds of the World: Vol. 8. Broadbills to Tapaculos*. Barcelona, Spain: Lynx Edicions.

del Hoyo, J., Elliott, A., & Christie, D. A. (Eds.). (2004). *Handbook of the Birds of the World: Vol. 9. Cotingas to Pipits and Wagtails*. Barcelona, Spain: Lynx Edicions.

del Hoyo, J., Elliott, A., & Sargatal, J. (Eds.). (1997). *Handbook of the Birds of the World: Vol. 4. Sandgrouse to Cuckoos*. Barcelona, Spain: Lynx Edicions.

dos Anjos, L. (2007). A eficiência do método de amostragem por pontos de escuta na avaliação da riqueza de aves. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 15(2), 239–243.

dos Anjos, L., & de Almeida, B. A. (2020). On the importance of niche packing for local species richness in taxonomic bird groups of the Neotropical region. *Journal of Ornithology*, 161(4), 1083–1092.

dos Anjos, L., Bochio, G. M., Medeiros, H. R., Almeida, B. D. A., Lindsey, B. R. A., Calsavara, L. C., & Torezan, J. M. D. (2019). Insights on the functional composition of specialist and generalist birds throughout continuous and fragmented forests. *Ecology and Evolution*, 9(11), 6318–6328.

dos Anjos, L., Volpato, G. H., Lopes, E. V., Willrich, G., Bochio, G. M., Lindsey, B. R. A., & Lima, M. R. (2018). Distributions of birds and plants in ecoregions: Implications for the conservation of a neotropical biodiversity hotspot. *Austral Ecology*, 43(7), 839–849.

Duncan, C., Thompson, J. R., & Pettorelli, N. (2015). The quest for a mechanistic understanding of biodiversity–ecosystem services relationships. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1817), 20151517.

Erritzøe, J., Mann, C. F., Brammer, F., & Fuller, R. A. (2012). *Cuckoos of the world*. London, UK: A&C Black.

Farneda, F. Z., de Souza, A. L., Willrich, G., Bortolotti, M. E., dos Anjos, L., & Lima, M. R. (2025). Bird functional composition in an Atlantic Forest fragment: the importance of lowland and upland habitats. *Ornithology Research*, 33(1), 21.

Fisher, B., & Christopher, T. (2007). Poverty and biodiversity: Measuring the overlap of human poverty and the biodiversity hotspots. *Ecological Economics*, 62(1), 93–101.

Fitzpatrick, J. W. (1981). Search strategies of tyrant flycatchers. *Animal Behaviour*, 29(3), 810–821.

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D., ... & Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science advances*, 1(2), e1500052.

Hammer, Ø., & Harper, D. A. T. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9.

Hermogenes De Mendonça, L., & Ebach, M. C. (2020). A review of transition zones in biogeographical classification. *Biological Journal of the Linnean Society*, 131(4), 717–736.

Hillebrand, H., Bennett, D. M., & Cadotte, M. W. (2008). Consequences of dominance: a review of evenness effects on local and regional ecosystem processes. *Ecology*, 89(6), 1510–1520.

Hinata, S. D. S., & Basso, L. A. (2022). Mapeamento do uso e cobertura do solo como subsídio à avaliação de serviços ecossistêmicos. *Estudos Geográficos*, 20(1), 36–57.

Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W. S., Reich, P. B., ... & Loreau, M. (2011). High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 477, 199–202.

Joly, C. A., Metzger, J. P., & Tabarelli, M. (2014). Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. *New Phytologist*, 204(3), 459–473.

Kark, S., Allnutt, T. F., Levin, N., Manne, L. L., & Williams, P. H. (2006). The role of transitional areas as avian biodiversity centres. *Global Ecology and Biogeography*, 16(2), 187–196.

- Kark, S., Mukerji, T., Safriel, U. N., Nissani, R., & Darvasi, A. (2002). Peak morphological diversity in an ecotone unveiled in the chukar partridge. *Journal of Animal Ecology*, 71, 1015–1029.
- Kark, S., & van Rensburg, B. J. (2006). Ecotones: marginal or central areas of transition? *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 52(1), 29–53.
- Kemp, J. M. (2000). Zoogeography of the coral reef fishes of the north-eastern Gulf of Aden. *Fauna of Arabia*, 18, 293–321.
- Laliberté, E., & Legendre, P. (2010). A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology*, 91(1), 299–305.
- Liautaud, K., Barbier, M., & Loreau, M. (2020). Ecotone formation through ecological niche construction: the role of biodiversity and species interactions. *Ecography*, 43(5), 714–723.
- Lovette, I. J., & Fitzpatrick, J. W. (Eds.). (2016). *Handbook of bird biology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Maack, R. (1968). *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba: BADEP.
- Mace, G. M. (2014). Whose conservation? *Science*, 345(6204), 1558–1560.
- Mammola, S., & Cardoso, P. (2020). Functional diversity metrics using kernel density n-dimensional hypervolumes. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(8), 986–995.
- Martin, K., Aitken, K. E. H., & Wiebe, K. L. (2004). Nest sites and nest webs for cavity-nesting communities in interior British Columbia. *The Condor*, 106, 5–19.
- Mason, N. W. H., Mouillot, D., Lee, W. G., & Wilson, J. B. (2005). Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*, 111, 112–118.
- Matuoka, M. A., Benchimol, M., & Morante-Filho, J. C. (2020). Tropical forest loss drives divergent patterns in functional diversity of forest and non-forest birds. *Biotropica*, 52(4), 738–748.
- Mori, A. S., Furukawa, T., & Sasaki, T. (2013). Response diversity determines the resilience of ecosystems to environmental change. *Biological Reviews*, 88, 349–364.

Moritz, C., Patton, J. L., Schneider, C. J., & Smith, A. R. (2000). Diversification of rainforest faunas: an integrated molecular approach. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 533–563.

Mouillot, D., Bellwood, D. R., Baraloto, C., Chave, J., Galzin, R., Harmelin-Vivien, M., ... & Thuiller, W. (2013). Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. *PLOS Biology*, 11, e1001569.

Mouillot, D., Culioli, J. M., Pelletier, D., & Tomasini, J. (2008). Do we protect biological originality in protected areas? A new index and an application to the Bonifacio Strait Natural Reserve. *Biological Conservation*, 141, 1569–1580.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.

Newbold, T., Scharlemann, J. P., Butchart, S. H., Şekercioğlu, Ç. H., Alkemade, R., Booth, H., & Purves, D. W. (2013). Ecological traits affect the response of tropical forest bird species to land-use intensity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280(1750), 20122131.

Newbold, T., Scharlemann, J. P., Butchart, S. H., Şekercioğlu, Ç. H., Joppa, L., Alkemade, R., & Purves, D. W. (2014). Functional traits, land-use change and the structure of present and future bird communities in tropical forests. *Global ecology and biogeography*, 23(10), 1073-1084.

Nor, S. M. (2001). Elevational diversity patterns of small mammals on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. *Global Ecology and Biogeography*, 10(1), 41–62.

Noss, R. F. (1987). Corridors in real landscapes: a reply to Simberloff and Cox. *Conservation Biology*, 1(2), 159–164.

Oliveira, H. S., & dos Anjos, L. (2023). Reduced vegetation integrity in selectively logged Atlantic rainforest affects bird diversity. *Journal for Nature Conservation*, 73, 126399.

Oliveira, H. S., Posso, S. R., & dos Anjos, L. (2023). Effects of migratory bird species on functional diversity in Mato Grosso do Sul. *Ornithology Research*, 32, 85–93.

Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J., Roy, D. B., Procter, D., Eigenbrod, F., ... & Bullock, J. M. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in ecology & evolution*, 30(11), 673-684.

Perevochtchikova, M., Flores, J. Á. H., Marín, W., & Bojórquez-Tapia, L. A. (2019). Systematic review of integrated studies on functional and thematic ecosystem services in Latin America. *Ecosystem Services*, 36, 100900.

Piacentini, V. Q., Aleixo, A., Agne, C. E., Maurício, G. N., Pacheco, J. F., Bravo, G. A., ... & Cesari, E. (2015). Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee / Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 23(2), 91–298.

Pigot, A. L., Sheard, C., Miller, E. T., Bregman, T. P., Freeman, B. G., Roll, U., & Tobias, J. A. (2020). Macroevolutionary convergence connects morphological form to ecological function in birds. *Nature Ecology & Evolution*, 4(2), 230–239.

Pigot, A. L., Trisos, C. H., & Tobias, J. A. (2016). Functional traits reveal the expansion and packing of ecological niche space underlying an elevational diversity gradient in passerine birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1822), 20152013.

Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52, 273–288.

Price, J., Tamme, R., Gazol, A., De Bello, F., ... & Pärtel, M. (2017). Within-community environmental variability drives trait variability in species-rich grasslands. *Journal of Vegetation Science*, 28(2), 303–312.

Repenning, M., Basso, H. C. D. P., Rossoni, J. R., Krügel, M. M., & Fontana, C. S. (2009). Análise comparativa da dieta de quatro espécies de cucos (Aves: Cuculidae), no sul do Brasil. *Zoologia*, 26, 443–453.

Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F., & Hirota, M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142, 1141–1153.

Ribon, R., Simon, J. E., & Mattos, G. T. (2003). Bird extinctions in Atlantic forest fragments of the Viçosa region, southeastern Brazil. *Conservation Biology*, 17(6), 1827–1839.

Ricklefs, R. E. (1987). Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science*, 235(4785), 167–171.

Schäffer, W. B., & Prochnow, M. (2002). *A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira*. Rio do Sul, SC: Apremavi.

Schleuter, D., Daufresne, M., Massol, F., & Argillier, C. (2010). A user's guide to functional diversity indices. *Ecological Monographs*, 80, 469–484.

Schwartz, M. W., Bringham, C. A., Hoeksema, J. D., Lyons, K. G., Mills, M. H., & van Mantgem, P. J. (2000). Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology. *Oecologia*, 122, 297–305.

Sekercioğlu, Ç. H., Wenny, D. G., & Whelan, C. J. (2016). *Why birds matter: avian ecological function and ecosystem services*. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Sekercioğlu, Ç. H., Loarie, S. R., Oviedo-Brenes, F., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (2015). Tropical countryside riparian corridors provide critical habitat and connectivity for seed-dispersing forest birds in a fragmented landscape. *Journal of Ornithology*, 156, 343–353.

Sherry, T. W., Kent, C. M., Sánchez, N. V., & Şekercioğlu, Ç. H. (2020). Insectivorous birds in the Neotropics: Ecological radiations, specialization, and coexistence in species-rich communities. *The Auk*, 137(4), ukaa049.

Si, X., Baselga, A., & Leprieur, F. (2016). Selective extinction drives taxonomic and functional alpha and beta diversities in island bird assemblages. *Journal of Animal Ecology*, 85(1), 153–161.

Sick, H. (1997). *Ornitologia Brasileira*. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira.

Silva, L. A., Valladares, F., Benavides, R., Flores, O., & Gonzaga, A. P. D. (2021). Functional diversity and assembly rules of two deciduous seasonal forests in Southeastern Brazil. *Forest Science*, 67(5), 514–524.

Silvestri, S., Zaibet, L., Said, M. Y., & Kifugo, S. C. (2013). Valuing ecosystem services for conservation and development purposes: a case study from Kenya. *Environmental Science & Policy*, 31, 23–33.

Smith, M. D., & Knapp, A. K. (2003). Dominant species maintain ecosystem function with non-random species loss. *Ecology Letters*, 6(6), 509–517.

Smith, T. B., Wayne, R. K., Girman, D. J., & Bruford, M. W. (1997). A role for ecotones in generating rainforest biodiversity. *Science*, 276, 1855–1857.

Smith, T. B., Schneider, C. J., & Holder, K. (2001). Refugial isolation versus ecological gradients. *Genetica*, 112(1), 383–398.

Smith, T. B., Wayne, R. K., Girman, D., & Bruford, M. W. (2005). Evaluating the divergence-with-gene-flow model in natural populations: the importance of ecotones in rainforest speciation.

Stachowicz, J. J., Fried, H., Osman, R. W., & Whitlatch, R. B. (2002). Biodiversity, invasion resistance, and marine ecosystem function: reconciling pattern and process. *Ecology*, 83(9), 2575–2590.

Stark, J., Lehman, R., Crawford, L., Enquist, B. J., & Blonder, B. (2017). Does environmental heterogeneity drive functional trait variation? A test in montane and alpine meadows. *Oikos*, 126(11), 1650–1659.

Streit, R. P., & Bellwood, D. R. (2023). To harness traits for ecology, let's abandon 'functionality'. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(5), 402–411.

Tilman, D. (2001). Functional diversity. In S. A. Levin (Ed.), *Encyclopedia of Biodiversity* (Vol. 3, pp. 109–120). San Diego, CA: Academic Press.

Tobias, J. A., Sheard, C., Pigot, A. L., Devenish, A. J., Yang, J., Sayol, F., & Schleuning, M. (2022). AVONET: Morphological, ecological and geographical data for all birds. *Ecology Letters*, 25(3), 581–597.

Tolessa, T., Senbeta, F., & Kidane, M. (2017). The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Ecosystem Services*, 23, 47–54.

Torezan, J. M. D. (2006). *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. Londrina: Itedes.

Towers, I. R., & Dwyer, J. M. (2018). Regional climate and local-scale biotic acceptance explain native–exotic richness relationships in Australian annual plant communities. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1874), 20172558.

Turner, W. R., Brandon, K., Brooks, T. M., Costanza, R., Da Fonseca, G. A., & Portela, R. (2007). Global conservation of biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 57(10), 868–873.

Urbina-Cardona, J. N., Olivares-Pérez, M., & Reynoso, V. H. (2006). Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across a pasture–edge–interior ecotone in tropical rainforest fragments in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve of Veracruz, Mexico. *Biological Conservation*, 132, 61–75.

Vancine, M. H., Muylaert, R. L., Niebuhr, B. B., Oshima, J. E., Sobral-Souza, T., ... & Galetti, M. (2024). The Atlantic Forest of South America: spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. *Biological Conservation*, 291, 110499.

Videler, J. J. (2006). *Avian flight*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Vielliard, J. M. E., Almeida, M. E. C., dos Anjos, L., & Silva, W. R. (2010). Levantamento quantitativo por pontos de escuta e o Índice Pontual de Abundância (IPA). In S. Von Matter, F. C. Straube, I. A. Accordi, V. Q. Piacentini, & J. F. Cândido Jr (Eds.), *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento* (pp. 47–60). Rio de Janeiro: Technical Books.

Vielliard, J. M. E., & Silva, W. R. (1990). Nova metodologia de levantamento quantitativo da avifauna e primeiros resultados no interior do Estado de São Paulo, Brasil. *Anais do IV Encontro Nacional de Anilheiros de Aves*, Recife, 117–151.

Violle, C., Navas, M. L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional!. *Oikos*, 116(5), 882–892.

Violle, C., Reich, P. B., Pacala, S. W., Enquist, B. J., & Kattge, J. (2014). The emergence and promise of functional biogeography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), 13690–13696.

Vleminckx, J. (2025). *Why and how so many species coexist in Tropical Moist Forests*. Brussels: Royal Academy for Overseas Sciences.

Whelan, C. J., Tomback, D. F., Kelly, D., & Johnson, M. D. (2016). Trophic interaction networks and ecosystem services. In C. H. Sekercioglu, D. G. Wenny, & C. J. Whelan (Eds.), *Why birds matter: avian ecological function and ecosystem services* (pp. 49–72). Chicago, IL: University of Chicago Press.

Whittaker, R. J., Rigal, F., Borges, P. A. V., Cardoso, P., Terzopoulou, S., Casanoves, F., ... & Triantis, K. A. (2014). Functional biogeography of oceanic islands and the scaling of functional diversity in the Azores. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), 13709–13714.

Wilman, H., Belmaker, J., Simpson, J., de la Rosa, C., Rivadeneira, M. M., & Jetz, W. (2014). EltonTraits 1.0: Species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecology*, 95(7), 2027.

Wilsey, B. J., & Polley, H. W. (2002). Reductions in grassland species evenness increase dicot seedling invasion and spittle bug infestation. *Ecology Letters*, 5(5), 676–684.