

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**RESPOSTAS ECOLÓGICAS DAS AVES À  
FRAGMENTAÇÃO NO BRASIL CENTRAL**

REILE FERREIRA ROSSI

Orientador: Dr. Ricardo B. Machado

Brasília-DF

2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOLOGIA

**RESPOSTAS ECOLÓGICAS DAS AVES À  
FRAGMENTAÇÃO NO BRASIL CENTRAL**

REILE FERREIRA ROSSI

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia, da Universidade de Brasília como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Zoologia.

Orientador: Dr. Ricardo Bomfim Machado

Brasília-DF

2021

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que por meio de editais do Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) do Decanato de Pós-Graduação/UnB foi fundamental para viabilizar as atividades de campo e realização da pesquisa.

Agradeço ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), o Centro Nacional de Pesquisas para Conservação de Aves Silvestres (CEMAVE) e à Comissão de Ética no Uso de Animais do Instituto de Ciência Biológicas pelas autorizações concedidas para a realização deste estudo.

Ao meu Orientador Dr. Ricardo Bomfim Machado pelas orientações e (re)direcionamento durante as atividades de campo e na escrita da tese, possibilitando autonomia.

Agradeço à Prof. Dra. Gabriela Nardoto pelas orientações, apoio e disposição do Laboratório de Solos e Vegetação do Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília para preparação das amostras de penas para posterior análise isotópica.

Agradeço à Universidade Estadual de Goiás, Campus Sudoeste, sede Quirinópolis, que possibilitou apoio logístico durante os estudos de campo.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-Graduação de Zoologia que cursei disciplinas durante o doutorado, as críticas possibilitaram novos olhares, análises e crescimento profissional.

Aos professores membros da banca de defesa, Prof. Dr. Reuber Albuquerque Brandão, Prof. Dr. Carlos Barros de Araújo e Prof. Dr. Renato Torres Pinheiro por todas as críticas e sugestões ao trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Planejamento para Conservação pelas discussões, sugestões de leitura, acompanhamento em disciplinas e convivência nos espaços da

universidade, que contribuíram para esta tese e para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço aos meus pais Jacir Rossi da Silva e Divina Rita Ferreira Rossi que nunca mediram esforços para que eu completasse a educação básica, mesmo morando na fazenda e diante de grande dificuldade financeira, o que me motivou a vencer todos os desafios impostos em minha vida.

Agradeço aos meus avós maternos Dilo Antônio Marques (*in memoriam*) e Ana Ferreira Marques por me acolher em sua casa durante meus estudos iniciais, por todo carinho e atenção.

Agradeço à minha esposa Jacqueline Jacinto Cabral Rossi pela paciência e por entender as ausências, e aos meus filhos Mateus Cabral Rossi, Rafael Cabral Rossi e Maria Júlia Cabral Rossi pelo carinho, na saída e na chegada, em todas as infinitas viagens a Brasília.

Aos meus alunos de graduação, Paulo Sérgio, Antônio, Bruna Alves da Silva, Amanda Santos Rodrigues, Maria Luiza Gonçalves Modesto, Naraline Marques Gonçalves, Daiane Barbosa Faria, que atuaram como apoio nas idas ao campo.

Agradeço aos proprietários das Fazendas Flórida, Alegre, Perdizes, Nossa Senhora Aparecida, Santa Maria, Laçada, Marupiara, Jatobá, Santa Rosa, Bela Vista, Fazendinha, Guarirobas e Lenda da Neuza, que autorizaram o acesso às áreas para realização das atividades de campo.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>1</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMO GERAL .....</b>	<b>4</b>
<b>GENERAL ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1 – RESPOSTAS DAS AVES À MUDANÇAS DA PAISAGEM NA REGIÃO NEOTROPICAL: UMA REVISÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>13</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>15</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>17</b>
<b>Material e Métodos .....</b>	<b>18</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>20</b>
<b>Discussão .....</b>	<b>26</b>
<b>Referências .....</b>	<b>29</b>
<b>Material Suplementar .....</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO 2 – RELAÇÃO ENTRE PERFIL ISOTÓPICO DE AVES E A FRAGMENTAÇÃO DO CERRADO.....</b>	<b>51</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>52</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>54</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>56</b>
<b>Material e Métodos .....</b>	<b>59</b>
<i>Área de estudo .....</i>	<i>59</i>
<i>Amostragem de aves.....</i>	<i>60</i>

<i>Análises ambientais</i> .....	63
<i>Análises isotópicas</i> .....	67
<i>Análises estatísticas</i> .....	68
<b>Resultados</b> .....	<b>70</b>
<b>Discussão</b> .....	<b>76</b>
<b>Referências</b> .....	<b>81</b>
<b>Material Suplementar</b> .....	<b>89</b>

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1 - ESTUDOS SOBRE RESPOSTAS DAS AVES ÀS MUDANÇAS DA PAISAGEM NA REGIÃO NEOTROPICAL: UMA REVISÃO

- Figura 1.** Mapa com representação graduada do número de artigos publicados sobre aves, relacionado às mudanças da paisagem na região neotropical, entre 2009 e 2019 ..... 24
- Figura 2.** Correlação entre anos de publicação e número de artigos publicados sobre aves neotropicais e sua relação com a escala local ou da paisagem entre 2009 e 2019 ..... 25
- Figura 3.** Relação de métodos de amostragem de aves em estudos sobre respostas à fragmentação, realizados na região neotropical entre 2009 e 2019 ..... 26

### CAPÍTULO 2 - RELAÇÃO ENTRE PERFIL ISOTÓPICO DE AVES E A FRAGMENTAÇÃO DO CERRADO

- Figura 1.** Localização dos pontos amostrados e municípios envolvidos neste estudo, sul do estado de Goiás, Brasil. Caçu (A), Cachoeira Alta (B), Paranaiguara (C) e Quirinópolis (D) ..... 64
- Figura 2.** Localização da área de estudo na região centro-sul do Cerrado. Os 18 fragmentos florestais amostrados (F1-F18) estão realçados em preto, dispostos na matriz (cor cinza) e na paisagem com remanescentes (cor verde). O mapa em escala maior mostra parte da microrregião Quirinópolis ..... 66
- Figura 3.** Desenho amostral, esquema da organização dos pontos de amostras de aves (linha contínua), diâmetro a altura do peito (círculo vazio) e cobertura de dossel (círculo preenchido) ..... 69
- Figura 4.** Comparação de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  obtidos de penas amostradas de aves em 18 fragmentos florestais de uma paisagem antropizada do Cerrado, por tipo de dieta (A), por espécie de insetívoro (B), frugívoro (C) e onívoro (D). Cada ponto representa uma amostra da espécie ..... 77
- Figura 5.** Comparação de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre guildas alimentares de aves de remanescentes florestais do Cerrado, estado de Goiás, Brasil ..... 78

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1 - ESTUDOS SOBRE RESPOSTAS DAS AVES ÀS MUDANÇAS DA PAISAGEM NA REGIÃO NEOTROPICAL: UMA REVISÃO

**Tabela 1.** Variáveis preditoras do fragmento focal e da paisagem, selecionadas por estudos sobre respostas das aves à fragmentação em paisagens neotropicais, publicados entre 2009 e 2019 ..... 26

**Tabela S1.** Lista de artigos sobre respostas das aves à fragmentação na região neotropical, publicados entre 2009 e 2019. Dados extraídos dos artigos: AU = autores, TI = título, P = país, E = escala, NA = número de áreas, TM = tamanho médio das áreas, NO = nível de organização do estudo, CA = classificação da área, ET = escala temporal, ME = método, VP = variáveis preditoras, RP = resultado principal ..... 38

### CAPÍTULO 2 - RELAÇÃO ENTRE PERFIL ISOTÓPICO DE AVES E A FRAGMENTAÇÃO DO CERRADO

**Tabela 1.** Relação das áreas onde aves foram amostradas no sul goiano, microrregião Quirinópolis, Goiás. Brasil. CF = código do fragmento, AT = área total (em hectares) .... 66

**Tabela 2.** Relação das métricas agrupadas por área temática. Dados da paisagem foram obtidos a partir de um *buffer* de 2 km para cada fragmento ..... 68

**Tabela 3.** Identificação dos fragmentos de floresta estacional semidecidual, o tipo de classe, tamanho, NDVI e número de amostras de aves amostradas no sul do Estado de Goiás, Brasil. Classe 1 (0,252 – 0,319), Classe 2 (0,322 – 0,330); Classe 3 (0,332 – 0,344) ..... 70

**Tabela 4.** Espécies de aves que tiveram penas amostradas para análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ), os respectivos fragmentos florestais de cerrado onde foram coletadas e o número de amostras por espécie ..... 74

**Tabela 5.** Valores de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio para aves de fragmentos florestais do Cerrado, estado de Goiás, Brasil. N – número de amostras, Mín - mínimo, Méd – média, Máx – máximo, RA – range, SD -  $\pm$  desvio padrão ..... 75

**Tabela 6.** Valores calculados de AICc para os modelos lineares generalizados considerando  $\Delta\text{AICc} < 2.0$ , usando valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , obtidos de penas

de aves amostradas em fragmentos florestais do Cerrado, métricas do fragmento e da paisagem .....	76
<b>Tabela S1.</b> Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de 15 espécies de aves amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual do sul de Goiás, Brasil .....	92

## RESUMO GERAL

A compreensão dos efeitos da fragmentação do hábitat e suas implicações para a biodiversidade é uma questão central da Biologia da Conservação, uma vez que mudanças no uso da terra representam ameaças graves para a biodiversidade. Embora muitos estudos tenham avaliado os efeitos da fragmentação sobre aves, ainda existem espécies, ambientes e aspectos que receberam pouca atenção e não conhecemos se existe um padrão geral nos estudos realizados para uma determinada região. O uso de isótopos estáveis parece ser promissor na Ecologia de Paisagens, uma vez que pode fornecer informações sobre como as espécies selecionam e utilizam os locais de forrageamento em uma paisagem modificada pela ação humana. Esse estudo teve como objetivo geral analisar estudos sobre respostas ecológicas das aves à fragmentação e perda de hábitat na região Neotropical e no Brasil Central. Para tanto, realizei uma revisão da literatura referente a estudos relacionados com os temas aves e fragmentação de hábitat na região Neotropical e relatei dados de isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ), extraídos de penas de aves coletadas em fragmentos florestais do centro-sul do cerrado com métricas ambientais na escala local e da paisagem. Houve aumento progressivo da publicação de artigos acerca dos efeitos da fragmentação sobre as aves na região Neotropical ao longo do tempo, esses estudos foram de curta duração e realizados na escala da paisagem, considerando as comunidades de aves presentes em áreas privadas. Cobertura do dossel foi a variável preditora mais investigada e pontos de escuta o método de amostragem mais utilizado. Não encontrei relação entre a composição isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) com as métricas ambientais. As variáveis distância para o fragmento mais próximo, número de fragmentos e cobertura de dossel explicou a composição isotópica de nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ). Encontrei diferenças entre aves insetívoras, onívoras e frugívoras quanto a composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ . Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  não diferiram

significativamente entre as classes de fragmentos. Os resultados revelam que riqueza de aves e grau de ameaça pelo uso da terra devem estar conduzindo a regionalização dos estudos neotropicais e a matriz C4, agropecuária, influencia a composição isotópica das aves de paisagens fragmentadas do Brasil Central.

**PALAVRAS-CHAVE:** Isótopos; Fragmentação de hábitat; Penas; Neotropical; Aves.

## GENERAL ABSTRACT

The comprehension of the habitat fragmentation's effects and its implications to biodiversity is a center question to Conservation Biology, once the changes in land use represent serious threats to biodiversity. Although many studies have evaluated the fragmentation's effect on birds, there are yet species, environments and aspects that received less attention and we do not know if there are a general pattern in the performed studies to a given region. The use of stable isotopes seems to be promising in the Landscape Ecology, once it can provide information about how species select and use the foraging locals in a landscape modified by human's actions. This study has as general objective analyze studies about bird's ecological responses to the fragmentation and habitat loss in the Neotropical region and Central Brazil. For this purpose, I performed a literature review regarding to studies related with bird and fragmentation themes in the Neotropical region and I related carbon's stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$ ) and nitrogen ( $\delta^{15}\text{N}$ ), extracted of bird feathers collected in forest fragments of Cerrado's center south with environmental metrics in local and landscape's scale. There was a progressive increase in articles publishing about the fragmentation effects on birds in the Neotropical region amongst the time, these studies were short duration and performed in the landscape scale, considering the birds communities present in private areas. The canopy coverage was the most investigated predictor variable and listening spots the most used sampling method. I did not find a relation between the carbon isotopic composition ( $\delta^{13}\text{C}$ ) with the environmental metrics. The variables distance for the nearest fragment, number of fragments and canopy coverage explained the nitrogen isotopic composition ( $\delta^{15}\text{N}$ ). I found differences between insectivorous, omnivorous and frugivorous birds in terms of isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ . The  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values did not differ significantly between the fragment's classes. The results revealed that the richness of

birds and threat degree by the land use must be conducting to a regionalization of neotropical studies and the C4 matrix, the agriculture and cattle raising, influences the bird's isotopic composition of fragmented landscapes in Central Brazil.

**KEYWORDS:** Isotopes; Habitat fragmentation; Feathers; Neotropical; Birds.

## **Introdução Geral**

As perturbações provocadas pelas ações humanas, como as mudanças no uso da terra, causam alterações negativas na biodiversidade (Newbold *et al.*, 2015; García-Veja e Newbold, 2020). As respostas negativas são promovidas por fragmentação e perda de habitat (Fahrig, 2003; Durães *et al.*, 2013; Stratford e Stouffer, 2015; Hadley *et al.*, 2017; Rodríguez-Echeverry *et al.*, 2018), baixa conectividade (Banks-Leite *et al.*, 2014; Kennedy *et al.*, 2011), redução da heterogeneidade e tamanho das manchas (Michalski e Peres, 2017), efeito de borda (Banks-Leite *et al.*, 2010), redução da cobertura da paisagem (Banks-Leite *et al.*, 2012; Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2016; ) e alterações do tipo da matriz (Biz *et al.*, 2017).

Os impactos negativos das mudanças da paisagem sobre a biodiversidade já foram descritos em diferentes regiões do planeta, com destaque para a região Neotropical, que concentra a maior riqueza de aves e o maior número de espécies endêmicas (Newton e Dale, 2001). Embora muitos estudos avaliaram os efeitos da fragmentação sobre aves, em especial na região Neotropical, ainda existem espécies e ambientes que receberam pouca atenção, por exemplo o bioma Cerrado (Rossi, 2016). Por outro lado, a maioria dos estudos são específicos de uma localidade e não conhecemos se existe um padrão nos estudos realizados nessa região sobre esse tema.

O uso de isótopos estáveis para entender os efeitos da fragmentação sobre as aves parece ser promissor em Ecologia de Paisagens. Isótopos estáveis, acumulados nas penas das aves permanecem inalterados (Layman *et al.*, 2011; Wunder *et al.*, 2012) e fornecem registro da sua dieta e conseqüentemente dos ambientes que são explorados. Essas informações possibilitam verificar como as aves selecionam e utilizam os locais de forrageamento em uma paisagem modificada pela ação humana. Nessas paisagens, as

áreas ocupadas por agricultura e pecuária, constituídas por plantas com metabolismo C4, influenciam na dieta das aves (Navarro *et al.*, 2021).

Esse trabalho tem como objetivo analisar estudos sobre respostas das aves à fragmentação e perda de hábitat na região Neotropical e avaliar respostas ecológicas das aves à fragmentação do cerrado no Brasil Central, utilizando isótopos estáveis de carbono e nitrogênio. Para atingir esses objetivos organizei a tese em dois capítulos.

No Capítulo 1 realizei uma revisão bibliográfica para entender o estado atual do conhecimento sobre os estudos que abordam os efeitos da fragmentação e perda de hábitat sobre as aves na região Neotropical. Categorizei os estudos, identifiquei lacunas do conhecimento e procurei tendências nas pesquisas realizadas entre 2009 e 2019. Verifiquei se existe diferenças no número de áreas amostradas entre os três principais métodos de amostragem (redes de neblina, pontos de escuta e transeção).

No Capítulo 2, utilizei isótopos estáveis de carbono e nitrogênio ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ), extraídos de penas de aves coletadas em fragmentos florestais do centro-sul do Cerrado para associar aos dados ambientais em escala local e da paisagem. Testei as seguintes hipóteses: H1) existe associação entre a composição isotópica de carbono e nitrogênio com o estado de fragmentação dos ambientes naturais (qualidade, tamanho e isolamento); H2) há diferença da composição de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre as guildas tróficas; H3) há diferenças da composição isotópica de aves entre fragmentos mais antropizados, em relação a fragmentos menos descaracterizados.

## Referências

Arroyo-Rodríguez, V.; Rojas, C.; Saldaña-Vázquez, R. A.; Stoner, K. E. Landscape composition is more important than landscape configuration for phyllostomid bat assemblages in a fragmented biodiversity hotspot. *Biological Conservation*, v. 198, p. 84–92, 2016. doi:10.1016/j.biocon.2016.03.026

Banks-Leite, C.; Ewers, R. M.; Metzger, J. P. Edge effects as the principal cause of area effects on birds in fragmented secondary forest. *Oikos*, v. 119, n. 6, p. 918-926, 2010. doi:10.1111/j.1600-0706.2009.18061.x

Banks-Leite, C.; Ewers, R. M.; Metzger, J. P. Unraveling the drivers of community dissimilarity and species extinction in fragmented landscapes. *Ecology*, v. 93, n. 12, p. 2560–2569, 2012. doi:10.1890/11-2054.1

Banks-Leite, C.; Pardini, R.; Tambosi, L. R.; Pearse, W. D.; Bueno, A. A.; Bruscin, R. T.; Condez, T. H.; Dixo, M.; Igari, A. T.; Martensen, A. C.; Metzger, J. P. Using ecological thresholds to evaluate the costs and benefits of set-asides in a biodiversity hotspot. *Science*, v. 345, n. 6.200, p. 1041-1045, 2014. doi: 10.1126/science.1255768

Biz, M.; Cornelius, C.; Metzger, J. P. W. Matrix type affects movement behavior of a Neotropical understory forest bird. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, n. 1, p. 10-17, 2017.

Durães, R.; Carrasco, L.; Smith, T. B.; Karubian, J. Effects of forest disturbance and habitat loss on avian communities in a Neotropical biodiversity hotspot. *Biological Conservation*, v. 166, p. 203-211, 2013.

Fahrig, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 34, p. 487-515, 2003.

García-Vega, D.; Newbold, T. Assessing the effects of land use on biodiversity in the world's drylands and Mediterranean environments. *Biodiversity and Conservation*, v. 29, p. 393-408, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01888-4>

Hadley, A. S.; Frey, S. J. K.; Robinson, W. D.; Betts, M. G. Forest fragmentation and loss reduce richness, availability, and specialization in tropical hummingbird communities. *Biotropica*, v. 50, n. 1, p. 74-83, 2017. Doi:10.1111/btp.12487

Kennedy, C. M.; Grant, E. H. C.; Neel, M.; Fagan, W. F.; Marra, P. Landscape matrix mediates occupancy dynamics of Neotropical avian insectivores. *Ecological Applications*, v. 21, n. 5, p. 1837-1850, 2011.

Layman, C. A.; Araujo, M. S.; Boucek, R.; et al. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. *Biological Reviews*. 2011. doi: 10.1111/j.1469-185X.2011.00208.x.

Michalski, F.; Peres, C. A. Gamebird responses to anthropogenic forest fragmentation and degradation in a southern Amazonian landscape. *PeerJ* 5:e3442. Doi: 10.7717/peerj.3442

Newbold, T.; Hudson, L. N.; Hill, S. L. L. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, v. 520, p. 45-69, 2015.

Newton, I., Dale, L. A comparative analysis of the avifaunas of different zoogeographical regions. *Journal of Zoology*, v. 254, p. 207-218, 2001.

Navarro, A. B.; Magioli, M.; Bogoni, J. A. et al. Human -modified landscapes narrow the isotopic niche of neotropical birds. *Oecologia*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-04908-9>

Rodríguez-Echeverry, J.; Echeverría, C.; Oyarzún, C.; et al. Impact of land-use change on biodiversity and ecosystem services in the Chilean temperate forests. *Landscape Ecology*, v. 33, p. 439–453, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0612-5>

Rossi, R. F. *Respostas de comunidade de aves à fragmentação florestal no Cerrado*. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

Stratford, J. A.; Stouffer, P. C. Forest fragmentation alters microhabitat availability for Neotropical terrestrial insectivorous birds. *Biological Conservation*, v. 188, p. 109–115, 2015.

Wunder, M. B.; Jehl Jr, J. R.; Stricker, C. A. The early bird gets the shrimp: confronting assumptions of isotopic equilibrium and homogeneity in a wild bird population. *Journal of Animal Ecology*, v. 81, p. 1223–1232, 2012.

## **CAPÍTULO 1**

# **ESTUDOS SOBRE RESPOSTAS DAS AVES ÀS MUDANÇAS DA PAISAGEM NA REGIÃO NEOTROPICAL: UMA REVISÃO**

## **Resumo**

Os estudos acerca dos efeitos da fragmentação foram fortemente influenciados por longo tempo pela teoria da Biogeografia de Ilhas, que propôs a relação espécie-área e o efeito da distância entre ilhas e o continente sobre a riqueza de espécies. Entretanto, nas últimas décadas os trabalhos passaram a considerar, além da área e isolamento, outras variáveis (*e.g.* efeito de borda, predadores de ninhos, permeabilidade da matriz e parasitismo) em diferentes regiões do mundo procurando respostas das aves à fragmentação. A região Neotropical abriga a maior diversidade de aves do mundo e a paisagem nativa sofre forte pressão antrópica. Conhecer as tendências dos estudos e lacunas do conhecimento relacionados ao efeito da fragmentação sobre as aves nessa região são fundamentais para direcionar estudos futuros e compreender melhor os resultados encontrados. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo analisar os estudos realizados sobre as respostas das aves à fragmentação na região neotropical publicados entre 2009 e 2019, categorizar os estudos, encontrar tendências e identificar lacunas do conhecimento. Realizei uma revisão bibliográfica em dois bancos de dados (*Web of Science* e *Scopus*). Encontrei 78 artigos realizados em 17 países. Houve aumento progressivo da publicação de artigos ao longo dos anos pesquisados. Os estudos foram realizados na escala da paisagem, de curta duração e considerando as comunidades de aves presentes em áreas privadas. Cobertura do dossel foi a variável preditora mais investigada e pontos de escuta o método de amostragem mais utilizado. Fatores como riqueza de aves e grau de ameaça pelo uso da terra devem estar conduzindo a regionalização dos estudos neotropicais. Estudos considerando a paisagem, comunidades de aves e áreas particulares foram uma tendência encontrada, mas já esperada, uma vez que permite respostas homogêneas em paisagem que sofrem rápidas mudanças pela atividade humana. O método de amostragem pontos de escuta é frequentemente utilizado em estudos quantitativos e tem mostrado muito útil

para estudos em paisagens fragmentadas. Embora não seja uma típica métrica na Ecologia de Paisagens, a cobertura de dossel é um forte indicador de qualidade do fragmento ou da paisagem e está associado com riqueza e abundância de aves. Os estudos realizados na região Neotropical sobre respostas das aves à fragmentação têm seguido um padrão para a escala, o nível de organização, o tipo de área estudada e o método de amostragem.

**Palavras-chave:** Fragmentação de hábitat; Métricas de paisagem; Perda de hábitat; Aves.

## **Abstract**

The studies about the fragmentation's effects were strongly influenced for a long time by the Biogeography of Islands, that proposed the specie-area relation and the effect of distance between islands and the continent upon species richness. However, in the last decades the work has started to consider, the permeability of the matrix and parasitism in different regions of the world looking for answers of birds to the fragmentation. The Neotropical region harbor the biggest bird's diversity of the world and the native landscape suffers strong anthropic pressure. Knowing the tendency of the studies and knowledge gaps related to the fragmentation's effects upon birds in this region is fundamental to direct future studies and to better understand the found results. In this regard, this work has as objective analyze the studies performed about bird's responses to fragmentation in the neotropical region published between 2009 and 2019, categorize the studies, find tendencies and identify knowledge gaps. I performed a bibliographic review in two databases (*Web of Science* e *Scopus*). I found 78 articles held in 17 countries. There was a progressive increase of article publication over the researched years. The studies were carried in the landscape scale, of short duration and considering bird's communities present in private areas. The canopy coverage was the most investigated predictor variable and listening spots was the most used sampling method. Factors as bird's richness and threat degree by the land use must be conducting to a regionalization of neotropical studies. Studies considering the landscape, bird's community and private areas were a found tendency, but it was already expected, once it allows homogeneous responses in landscape that suffers quick changes by human activity. The sampling method listening spots is frequently used in quantitative studies and has shown very useful to studies in fragmented landscape. Although it is not a typical metric in Ecology of Landscape, the canopy coverage is a strong indicator of the

fragment's quality or landscape and it is associated with richness and bird's abundance. The studies performed in the Neotropical region about bird's responses to the fragmentation has been following a pattern to scale, organization level, type of studied area and sampling method.

**Keywords:** Habitat fragmentation; Landscape metrics; Habitat loss; Birds.

## Introdução

Os primeiros estudos sobre a relação entre aves e fragmentação foram publicados em meados da década de 1960 e na década 1970 (Hamilton *et al.*, 1964; Diamond, 1969; Diamond, 1970a, 1970b; Diamond, 1971), com destaque para o Projeto Dinâmica Biológica de Fragmentos Florestais – PDBFF, que passou a estudar os efeitos da fragmentação sobre a biodiversidade na região Amazônica.

Os estudos acerca dos efeitos da fragmentação sobre a diversidade foram fortemente influenciados por longo tempo pela teoria da Biogeografia de Ilhas proposta por Robert H. MacArthur e Edward O. Wilson, no livro *The Theory of Island Biogeography*, publicado em 1967. MacArthur e Wilson verificaram em modelos teóricos que a quantidade de espécies em uma ilha era resultante de um balanço entre o tamanho e a distância da ilha ao continente. Segundo modelo, ilhas pequenas ou mais remotas possuíam menos espécies, enquanto ilha grandes e mais próximas do litoral apresentariam maior riqueza. Assim, a relação espécie-área e a métrica distância entre ilhas e o continente foram apresentados para suportar essa teoria (Simberloff, 1974).

Com o passar do tempo, os pesquisadores passaram a considerar, além da área e isolamento, outros aspectos importantes como o tipo e a estrutura da matriz (Jokimäki e Huht, 1996, Gascon *et al.*, 1999, Ricketts, 2001). Adicionalmente, outras características de ambientes fragmentados, como por exemplo o efeito de borda (Marini *et al.*, 1995; Banks-leite *et al.*, 2010), predadores de ninhos (Melo e Marini, 1997; Batáry e Báldi, 2004; Young *et al.*, 2008), tipo de matriz (Antongiovanni e Metzger, 2005; Biz *et al.*, 2017) e parasitas (Fecchio *et al.*, 2007; Luz *et al.*, 2012) passaram a ser avaliados em diversas regiões e grupos taxonômicos.

Algumas respostas das aves à fragmentação parecem apresentar um padrão, *e. g.* insetívoros especialistas e frugívoros de grande porte são mais sensíveis (Sigel *et al.*,

2006; Uezu *et al.*, 2005) enquanto onívoros são pouco afetados (Ribon *et al.*, 2003; Sam *et al.*, 2014) ou podem ser beneficiados (Anjos, 1998). Há ainda respostas à fragmentação que são intraespecíficas (Sigel *et al.*, 2006; Cavarzere *et al.*, 2012) dentro de uma espécie ou um grupo funcional. Uma forma de saber se existe uma tendência dos estudos relacionados ao efeito da fragmentação sobre as aves e encontrar lacunas do conhecimento é verificar o que e como os pesquisadores têm estudado e quais respostas têm sido encontradas.

Cerca de 40% de todas as espécies de aves do mundo estão na região Neotropical que, além de ser a mais rica em espécies, é também a região com maior número de espécies endêmicas (Newton e Dale, 2001). Ao mesmo tempo, as mudanças antrópicas da paisagem Neotropical têm colocado essa diversidade em risco. Nesta região estão localizadas oito áreas classificadas como *hotspot* de biodiversidade (Myers *et al.*, 2000), ou seja, regiões mais ricas e ameaçadas da Terra. Então, estudar os efeitos da fragmentação e perda de hábitat nessa região é extremamente importante para propor ações de conservação de uma parte significativa da diversidade mundial de aves.

Esse estudo tem como objetivo analisar os estudos sobre aves em paisagens fragmentadas na região Neotropical publicados entre 2009 e 2019. Ademais, pretende-se categorizar os estudos, identificar tendências e lacunas do conhecimento, verificar se há aumento do número de artigos publicados ao longo do tempo e se existe relação entre tamanho do território e número de estudos realizados em cada país.

## **Material e Métodos**

A análise sobre os estudos realizados na região neotropical sobre aves e dados da paisagem foi realizada a partir de pesquisa em duas bases de dados, *Web of Science* e

*Scopus*, por artigos publicados entre os anos 2009 e 2019 obtidos por meio de extensa revisão bibliográfica. As palavras-chave utilizadas para a busca foram: “*habitat loss*” and “*neotropical*”, “*fragmentation*” and “*neotropical*”, “*landscape*” and “*neotropical*” e “*bird*” and “*neotropical*” presentes no título, resumo ou palavras-chave dos artigos. A busca foi por artigos publicados em língua inglesa. Logo em seguida os artigos foram revisados individualmente e selecionados aqueles que atendiam os seguintes critérios: i) se o estudo das aves estava relacionado com métricas qualitativa ou quantitativa do fragmento ou da paisagem; ii) se o estudo comparava áreas conservadas com áreas alteradas; iii) se a área do estudo estava localizada na região Neotropical (*sensu* Morrone (2014)).

A busca resultou em 4.435 artigos que após a leitura do título, resumo e material e métodos, resultou na seleção final de 78 trabalhos. De cada artigo foram anotados os seguintes dados: a) autores; b) ano da publicação; b) país; c) escala (fragmento ou paisagem); d) número e tamanho médio das áreas de estudo; e) nível de organização (população ou comunidade); f) classificação da área estudada (particular ou protegida); g) escala temporal (em anos); h) metodologia utilizada para amostragem das aves (dados bibliográficos, captura com redes neblina, pontos de escuta, outros); i) variáveis preditoras; j) principal resultado da pesquisa. A escala temporal foi definida como a diferença entre o último e o primeiro ano da amostragem (Dias *et al.*, 2016).

Utilizei o software QGIS v.3.16.1 (QGIS Development Team, 2020) para produzir um mapa categorizado com o número de artigos por país utilizando o arquivo *shapefile* da região Neotropical (Löwenberg-Neto, 2014) como máscara para cortar o polígono dos países das Américas e Caribe. Posteriormente editei a tabela de atributos do arquivo recortado para incluir o número de artigos por país. Utilizando simbologia

graduada, classifiquei os países em cinco classes, com intervalo igual, correspondendo ao número de artigos por país.

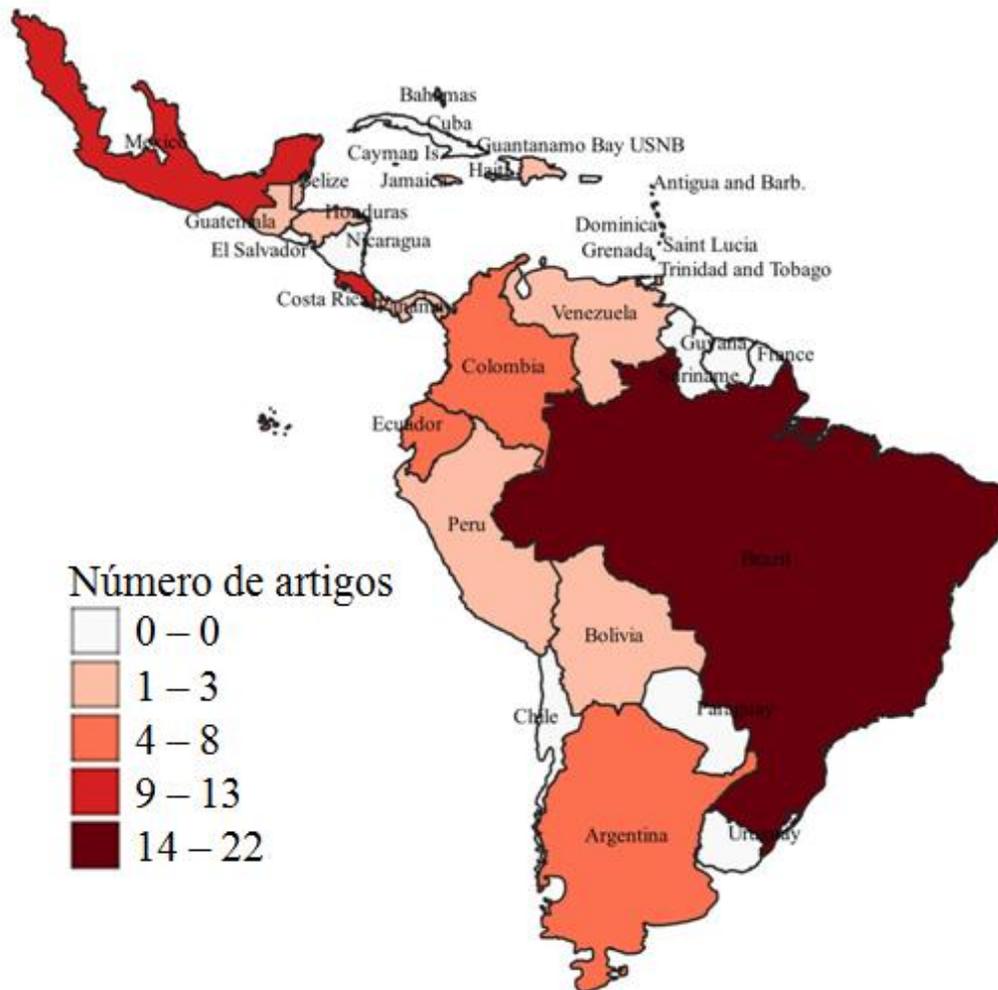
Para verificar se existe relação entre número de artigos com o ano da publicação e área do país (km<sup>2</sup>) utilizei o teste de correlação de Spearman. Testei se existem diferenças no número de áreas amostradas entre os três principais métodos de amostragem (redes de neblina, pontos de escuta e transecções), utilizando o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis, visto que os dados não apresentaram distribuição normal ( $W = 0.86749$ ,  $P = 0,002$ ;  $W = 0.77503$ ,  $P < 0.001$ ;  $W = 0.431$ ,  $P < 0,001$ ). As premissas de normalidade e homogeneidade de variância foram testadas utilizando o teste de Shapiro-Wilk e o teste de F. A variável “número de artigos por ano” mostrou distribuição normal e homogeneidade ( $W = 0.968$ ,  $P = 0,869$ ;  $F = 2.003$ ,  $P = 0,288$ ). As variáveis “número de artigos por país” e “área do país” não atingiram as premissas de normalidade ( $W = 0.706$ ,  $P = 0.0001$ ;  $W = 0.508$ ,  $P < 0,001$ ) e homogeneidade ( $F = 1.144$ ,  $df = 16$ ,  $P < 0,001$ ), por isso para esses dados foi realizado uma análise não-paramétrica, teste de Spearman. As análises estatísticas foram realizadas no programa R (R Development Core Team, 2020).

## Resultados

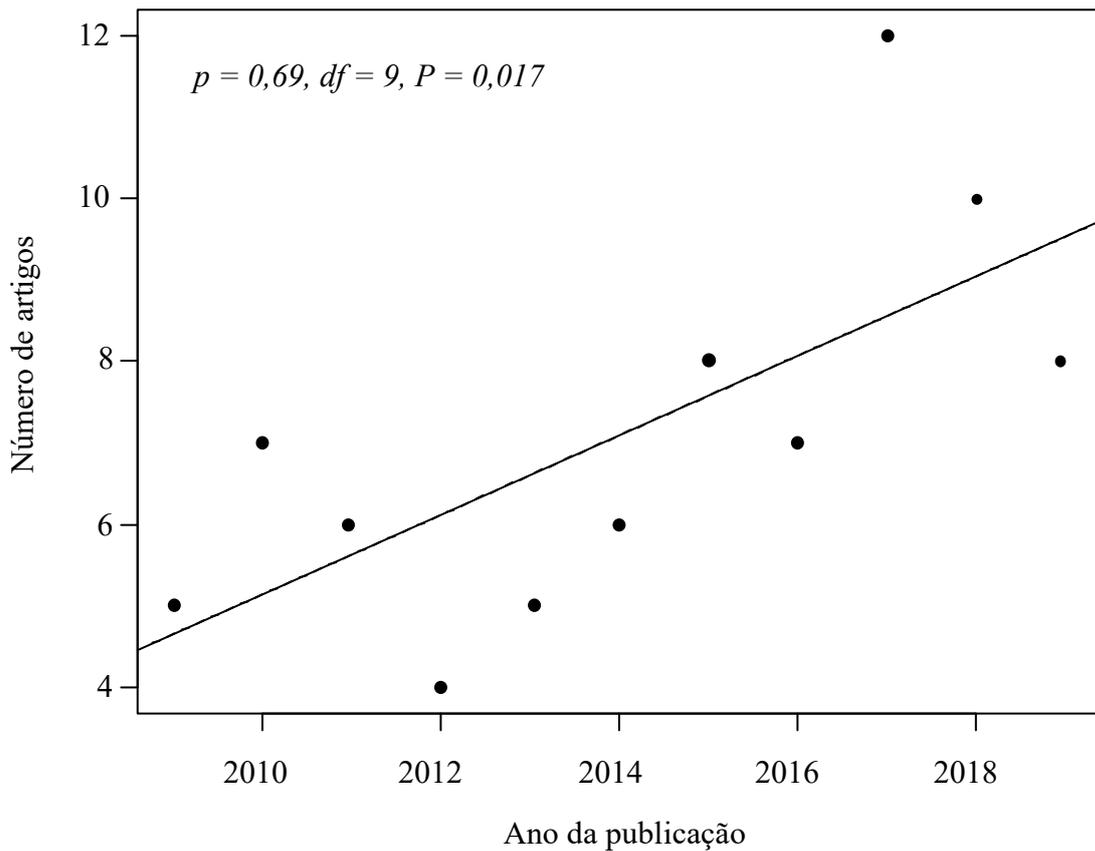
Foram selecionados 78 artigos (Material suplementar, Tabela S1) acerca dos efeitos da fragmentação sobre as aves da região neotropical. Os artigos estavam associados a 17 países, com destaque para Brasil ( $n = 22$ , 28%), seguido por Costa Rica ( $n = 13$ , 17%), México ( $n = 12$ , 15%) e Colômbia ( $n = 8$ , 10%) (Figura 1). Houve aumento do número de artigos aumenta com o passar dos anos ( $p = 0,69$ ,  $df = 9$ ,  $P = 0,017$ ) (Figura 2). Esse aumento progressivo da publicação de artigos ao longo dos anos foi mais pronunciado entre 2016 e 2019, quando 47% dos artigos foram publicados.

O número de artigos por país não foi associado com sua área ( $s = 545.3$ ,  $P = 0.193$ ). Países com pequena área territorial, como Costa Rica, tiveram grande número de

artigos publicados ( $n = 13$ ), enquanto alguns países com grande extensão tiveram poucos artigos publicados, por exemplo, Bolívia ( $n = 1$ ) e Peru ( $n = 1$ ). Não encontrei diferença no número de áreas amostradas entre os principais métodos de amostragem ( $X^2 = 0,573$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,750$ ).



**Figura 1.** Mapa com representação graduada do número de artigos publicados sobre aves, relacionado às mudanças da paisagem na região neotropical, entre 2009 e 2019.

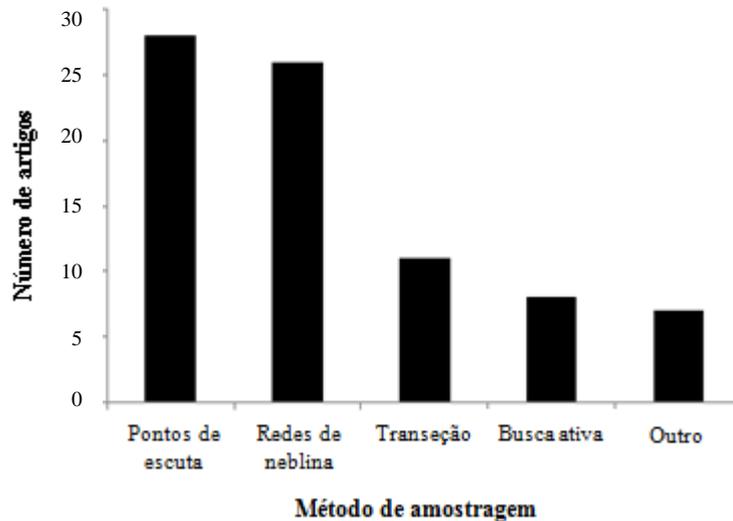


**Figura 2.** Correlação entre anos de publicação e número de artigos publicados sobre aves neotropicais e sua relação com a escala local ou da paisagem entre 2009 e 2019.

Os estudos concentraram esforços na escala da paisagem ( $n = 66$ ; 85%), avaliando entre 1 e 129 áreas (média = 15, SD = 43,3). A maioria dos autores optou por estudar os efeitos da fragmentação sobre as comunidades de aves ( $n = 60$ ; 77%) e utilizaram áreas particulares ( $n = 50$ ; 64%) para amostrar as aves e das métricas dos fragmentos ou da paisagem. Em apenas 28 artigos as áreas de estudo estavam inseridas dentro de áreas protegidas.

Quanto à escala temporal, o tempo destinado ao levantamento das informações sobre as aves e métricas locais e/ou da paisagem, a média foi de 2,83 anos (SD = 4,2). Identifiquei 112 tipos diferentes de variáveis preditoras amostradas no fragmento focal ( $n$

= 78) e na paisagem (n = 34). Os métodos de amostragem de aves mais utilizados foram pontos de escuta (n = 28, 36%) e redes de neblina (n = 24, 30%) (Figura 3).



**Figura 3.** Relação de métodos de amostragem de aves em estudos sobre respostas à fragmentação, realizados na região neotropical ente 2009 e 2019.

Entre as variáveis do fragmento, a cobertura de dossel (22%), diâmetro à altura do peito (19%), altura das árvores (15%) e área do fragmento (14%) foram as métricas mais utilizadas nos estudos, enquanto as variáveis mais comuns extraídas da paisagem foram cobertura da matriz (15%), distância para o fragmento mais próximo (7,7%), tipo de matriz (6,4%) e cobertura da vegetação nativa (5%) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Variáveis predictoras do fragmento focal e da paisagem, selecionadas por estudos sobre respostas das aves à fragmentação em paisagens neotropicais, publicados entre 2009 e 2019.

Variável		Número de estudos
Fragmento focal	Paisagem	
Abertura do dossel		4
Abundância de arbustos		2
Abundância de árvores		8
Abundância de frutos		1

Abundância de troncos		1
Altura das árvores		12
Altura de arbustos		4
Altura do dossel		7
Altura do sub-bosque		1
Altura do estrato herbáceo		2
Altura máxima de árvores		1
Altura mínima e máxima de samambaias		1
Área do fragmento		11
Área basal das árvores		4
	Área de floresta ao redor do fragmento	1
	Área de floresta ligada por corredores	1
Árvores com frutos		1
Biomassa		1
Classificação do substrato		1
Classificação da vegetação		1
Cobertura de dossel		17
	Cobertura de área rural	1
Cobertura de floresta		5
	Cobertura da paisagem	3
	Cobertura de agricultura	1
Cobertura de árvores		4
Cobertura de estrato herbáceo		2
Cobertura de arbustos		6
	Cobertura de área verde	1
	Cobertura de árvores circundantes aos fragmentos	1
Cobertura de bosque		1
	Cobertura de cultura anual	2
	Cobertura de cultura permanente	2
	Cobertura de diferentes tipos de vegetação da matriz	5
	Cobertura de pastagem	3
	Cobertura de urbanização	1
Cobertura do solo		2
Complexidade vertical da vegetação		6
Complexidade de tipos de fragmento semelhantes		1
	Composição da paisagem	1
Comprimento do corredor		1
	Configuração da paisagem	2
Contraste de borda		1
Corte seletivo		1
DAP		15
Densidade da área basal		1
Densidade de árvores		6
Densidade de arbustos		3
Densidade de borda		2
Densidade de flores		1

	Densidade da paisagem	1
Densidade do fragmento		1
Densidade do sub-bosque		3
Diferenças entre borda e interior		3
Distância entre locais de captura e soltura		1
Distância para a borda da floresta		2
	Distância para a casa mais próxima	1
	Distância para o curso d'água mais próximo	3
	Distância para a estrada de terra mais próxima	1
	Distância para a fazenda mais próxima	2
	Distância para a ferrovia mais próxima	1
	Distância para a mata ciliar mais próxima	1
	Distância para a planície de inundação	1
	Distância para a rodovia mais próxima	1
	Distância para o fragmento mais próximo	6
Diversidade de arbustos		1
Diversidade de árvores		1
	Domínio do entorno da floresta	1
Elevação		2
Evapotranspiração		1
Fogo		1
Idade média do fragmento		6
Índice de abundância de obstáculo		1
	Índice de forma	1
	Índice de proximidade	2
Índice de qualidade do habitat		1
Isolamento do fragmento		3
Largura da borda		1
Largura do corredor		1
NDVI		1
	Níveis de conectividade	1
Nível de perturbação		3
Número de árvores		6
Número de árvores mortas		2
Número de árvores grandes		2
Número de árvores médias		1
Número de bromélias		1
Número de cavidades arbóreas		1
Número de <i>Cecropia</i>		3
Número de estratos verticais		3
	Número de fragmentos	1
Número de folhas mortas		1
Número de troncos		1
Porcentagem de solo descoberto		1
Precipitação		3
Presença de palmeira		1

Presença de árvores mortas		1
Presença de recurso hídrico		1
Profundidade de serapilheira		4
	Qualidade da paisagem	1
	Relação perímetro-área	1
Riqueza de arbustos		4
Riqueza de árvores		8
Riqueza de herbáceas		2
Solo descoberto		1
	Similaridade de fragmentos vizinhos	1
Tamanho longitudinal do fragmento		1
Temperatura		1
	Tipo de matriz	5
	Tipo de floresta	4
Tipo de vegetação do sub-bosque		1
Tipo de vegetação do sub-dossel		1

## Discussão

O aumento do número de publicações nos últimos anos é esperado, uma vez que está associado à formação de pós-graduandos, mestres e doutores, e investimentos em pesquisa. Na Argentina, por exemplo, a quantidade de doutores aumentou significativamente entre 2000 e 2010 (Catanzaro *et al.*, 2014). Espera-se que esse acréscimo de doutores também ocorreu na área de biologia da conservação, ornitologia ou ecologia de paisagens, o que implica no volume de publicações. O último ranque das universidades da América Latina elaborado pela *Quacquarelli Symonds* (QS) considerando oito indicadores, entre eles dados bibliométricos, universidades do Brasil (n = 3), México (n = 2), Colômbia (n = 2), Chile (n = 2) e Argentina (n = 1) se destacaram entre as melhores instituições latino-americanas (Quacquarelli Symonds, 2020).

Não encontrei um padrão entre o número de artigos publicados e a área do país, apesar do Brasil ter o maior território e mais publicações. Outros fatores devem estar conduzindo a esse modelo como a presença de instituições de pesquisa, rede de pesquisadores na área, riqueza de aves (*e.g.* Colômbia, México e Equador) e grau de

ameaça pelo uso da terra. Está consolidado na literatura que mudanças no uso da terra promovem fragmentação, perda de hábitat e redução de riqueza e abundância de aves (Maya-Elizarás e Schondube, 2015; Stratford e Stouffer, 2015; Santamaría-Rívero *et al.*, 2016; Lata *et al.*, 2017; López-Ricaurte *et al.*, 2017; Michalski e Peres, 2017; Furumo e Aide, 2019).

Utilizar dados da paisagem permite entender melhor as respostas das aves às modificações antrópicas da terra, como desmatamento, monocultura ou pastagem. Aves especialistas de floresta são mais afetadas em paisagens com menor cobertura florestal (Carrara *et al.*, 2015). As respostas dependem da composição da paisagem (Borges *et al.*, 2016; Frishkoff e Karp, 2019). A fragmentação de habitat é um processo que ocorre na escala da paisagem e os resultados dos estudos devem ser interpretados nesta escala (Fahrig, 2003).

Uma tendência encontrada foi a predominância de estudos sobre respostas de comunidades de aves à fragmentação. A escolha por avaliar a comunidade é um padrão já observado para a América Latina (Wojciechowski *et al.*, 2017). Estudar as comunidades em paisagens fragmentadas permite ter uma visão mais homogênea sobre como os agrupamentos de espécies respondem à fragmentação. Entretanto, muitas respostas são espécie-específicas. Por exemplo, a idade do hábitat e seu isolamento afetam mais aves de sub-bosque do que espécies de dossel (Bradfer-Lawrence; Gardner e Dent, 2018), *Leptotila conoveri* sobrevive em paisagens degradadas (Carvajal-Rueda e Losada-Prado, 2011), aves de sub-bosque são mais afetados pela fragmentação (Zuluaga e Rodewald, 2015) e insetívoros neotropicais apresentam respostas diferentes à fragmentação, de acordo com o tipo de matriz e espécie (Kennedy *et al.*, 2011). Nesse sentido, estudos futuros em paisagens fragmentadas deveriam considerar populações ou

grupos definidos para fornecer respostas mais específicas em relação às mudanças na paisagem, principalmente quando o foco é o manejo e proteção de espécies ameaçadas.

Apesar da América Latina possuir o título global de região com maior proporção de área protegida (Bertzky *et al.*, 2012), a maioria dos estudos foram realizados em áreas particulares. Os 13 países da América do Sul mantêm juntos 16% de áreas protegidas, são 3.000.000 Km<sup>2</sup> (Salvio e Gomes, 2018). Apesar das áreas protegidas da região Neotropical estarem sobre pressão (Leisher *et al.*, 2013), são nas propriedades privadas onde as mudanças da paisagem ocorrem de forma mais rápida e intensa. Áreas com vegetação nativa comportam populações e comunidades de aves estáveis ou em declínio. Então, estudos em áreas particulares fornecem dados que podem ser comparados ao longo do tempo e permitem compreender melhor as respostas das aves às mudanças que ocorrem na paisagem.

A escala temporal média dos estudos indica um padrão de trabalhos de curta duração. Entretanto, estudos de longa duração como o Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) desenvolvido no Brasil e em outros 43 países que integram uma Rede Internacional de Pesquisa Ecológica de Longa Duração – ILTER, possibilita compreender em longo prazo os efeitos de mudanças da paisagem sobre a composição, dinâmica e funcionamento de ecossistemas (Brito *et al.*, 2020). Assim, sempre que possível, recomenda-se uso de uma escala temporal maior nos futuros estudos em ecologia de aves em paisagens fragmentadas.

Apesar da maioria dos estudos ter utilizado pontos de escuta como método para amostragem das aves, não houve diferença no número de áreas amostradas entre os principais métodos, diferente do esperado, uma vez que esse método é frequentemente utilizado em estudos quantitativos e exige menor tempo para amostrar uma parcela importante das aves de uma determinada área (Bibby *et al.*, 1993; Anjos, 2007). Esse

método foi adaptado para a região tropical por Vielliard e Silva (1990) e é muito útil em estudos de aves em paisagens fragmentadas (Lees e Peres, 2010; De Stefano *et al.*, 2012; Echeverri *et al.*, 2019) por possibilitar levantamento em um número maior de áreas proporcional ao esforço temporal.

As métricas dos fragmentos foram mais exploradas nos estudos, principalmente aquelas que caracterizam a estrutura e qualidade da vegetação, como cobertura de dossel, dados de árvores e área do fragmento focal. Esse padrão pode ser explicado porque paisagens com mais cobertura florestal, apresentam mais indivíduos e mais espécies (Fahrig, 2013; Echeverri *et al.*, 2019; Frishkoff e Karp, 2019). A diversidade estrutural vertical e árvores remanescentes são importantes para as aves em paisagens agrícolas (Bennett *et al.*, 2018; Colorado; Mehlman e Valencia-C, 2018;) e a riqueza de aves está associada com área (Fahrig, 2003; Lee e Peres, 2010; Hadley *et al.*, 2017; Michalski e Peres, 2017).

Os resultados desta revisão revelaram que os estudos realizados na região Neotropical sobre respostas das aves à fragmentação têm seguido um padrão para a escala do estudo (paisagem), o nível de organização (comunidade), o tipo de área estudada (particular) e a metodologia utilizada para amostragem das aves (pontos de escuta). Diante da verificação do uso de métricas homônimas recomendo nos estudos futuros uma padronização na nomenclatura das métricas na escala local (fragmento) para permitir a comparação de estudos realizados em diferentes regiões ou biomas sobre o tema.

## Referências

Andersen, B. J. Research in the journal *Landscape Ecology*, 1987–2005. *Landscape Ecology*, v. 23, n. 2, p. 129-134, 2008.

Anjos, L. dos. Consequências biológicas da fragmentação no norte do Paraná. *Série Técnica do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais*, v. 12, p. 87-94, 1998.

Anjos, L. dos. A eficiência do método de amostragem por pontos de escuta na avaliação da riqueza de aves. *Revista Brasileira de Ornitologia*, v. 15, n. 2, p. 239-43, 2007.

Antongiovanni, M.; Metzger, J. P. Influence of matrix habitats on the occurrence of insectivorous bird species in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation*, v. 122, p. 441–451, 2005.

Banks-Leite, C.; Ewers, R. M.; Metzger, J. P. Edge effects as the principal cause of area effects on birds in fragmented secondary forest. *Oikos*, v. 119, p. 918-926, 2010.

Batáry, P.; Báldi, A. Evidence of an edge effect on avian nest success. *Conservation Biology*, v. 18, n. 2, p. 389-400, 2004.

Bertzky, B.; Corrigan, C.; Kemsey, J.; Kenney, S.; Ravilious, C.; Besançon, C.; Burgess, N. *Protected Planet Report 2012: Tracking Progress towards Global Targets for Protected Areas*. IUCN e UNEP-WCMC: Gland, Switzerland e Cambridge, UK, 2012.

Bibby, J. C.; Burgess, N. D.; HILL, D. A. Bird census techniques. London: Academic Press, 1993. 302 p.

Biz, M.; Cornelius, C.; Metzger, J. P. W. Matrix type affects movement behavior of a Neotropical understory forest Bird. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, p. 10–17, 2017.

Borges, S. H.; Cornelius, C.; Moreira, M.; Ribas, C. C.; Conh-Haft, M.; Capurucho, J. M.; Vargas, C.; Almeida, R. Bird Communities in Amazonian White-Sand Vegetation Patches: Effects of Landscape Configuration and Biogeographic Context. *Biotropica*, v. 48, n. 1, p. 121–131, 2016.

Bradfer-Lawrence, T.; Gardner, N.; Dent, D. H. Canopy bird assemblages are less influenced by habitat age and isolation than understory bird assemblages in Neotropical secondary forest. *Ecology and Evolution*, v. 8, p. 5586–5597, 2018.

Brito, M. A.; Oliveira, D. de; Mamede, M. de A.; Randig, O.; Lacerda, F. S. de. Programa de pesquisa ecológica de longa duração – PELD/CNPq – desafios da gestão, avanços e perspectivas. *Oecologia Australis*, v. 24, n. 2, p. 259-265, 2020.

Carrara, E.; Arroyo-Rodriguez, V.; Vega-Rivera, J. H.; Schondube, J. E.; Freitas, S. M. de; Fahrig, L. Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Biological Conservation*, v. 184, p. 117–126, 2015.

Carvajal-Rueda, A.; Losada-Prado, S. Uso de hábitat de la caminera tolimense (*Leptotila conoveri*) en un área degradada de la cuenca del Río Combeima (Tolima, Colombia). *Ornitologia Neotropical*, v. 22, p. 539–551, 2011.

Catanzaro, M.; Miranda, G.; Palmer, L.; Bajak, A. South American science: big players. *Nature*, v. 510, p. 204-206, 2014.

Cavarzere, V.; Marcondes, R. S.; Moraes, G. P.; Donatelli, R. J. Comparação quantitativa da comunidade de aves de um fragmento de floresta semidecidual do interior do Estado de São Paulo em intervalo de 30 anos. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 102, p. 384-393, 2012.

De Stefano, K.; Merler, J. A.; Magnano, A. L.; Nanni, A. S.; Kandus, P.; Quintana, R. D. Relacion entre la heterogeneidad ambiental y el patrón de distribución y la riqueza de aves en dos unidades de paisajes del delta del Parana, Argentina. *Ornitología Neotropical*, v. 23, p. 169-184, 2012.

Diamond, J. M. Avifaunal equilibria and species turnover rates on the channel islands of California. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 64, n. 1, p. 57-63, 1969.

Diamond, J. M. Ecological consequences of island colonization by southwest Pacific birds. I. Types of niche shifts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 67, n. 2, p. 529-536, 1970a.

Diamond, J. M. Ecological consequences of island colonization by southwest Pacific birds. II. The effect of species diversity on total population density. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 67, n. 4, p. 1715-1721, 1970b.

Diamond, J. M. Comparison of faunal equilibrium turnover rates on a tropical island and a temperate island. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 68, n. 11, p. 2742-2745, 1971.

Dias, M. S. Trends in studies of Brazilian stream fish assemblages. *Natureza & Conservação*, n. 14, p. 106-111, 2016.

Echeverri, A.; Frishkoff, L. O.; Gomez, J. P.; Zook, J. R.; Juarez, P.; Naidoo, R.; Chan, K. M. A.; Karp, D. S. Precipitation and tree cover gradients structure avian alpha diversity in North. *Diversity and Distributions*, v. 25, p. 1222-1233, 2019.

Hamilton, T. H.; Barth, R. H.; Rubinoff, I. The environmental control of insular variation in bird species abundance. *Proc Natl Acad Sci USA*, v. 52, n. 1, p. 132-140, 1964.

Fahrig, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 34, p. 487-515, 2003.

Fahrig, L. Rethinking patch size and isolation effects: the habitat amount hypothesis. *Journal of Biogeography*, v. 40, p. 1649-1663, 2013.

Fecchio, A.; Marini, M. Â.; Braga, E. M. Baixa prevalência de hemoparasitos em aves silvestres no Cerrado do Brasil Central. *Neotropical Biology and Conservation*, v. 2, n. 3, p. 127-135, 2007.

Frishkoff, L. O.; Karp, D. S. Species-specific responses to habitat conversion across scales synergistically restructure Neotropical bird communities. *Ecological Applications*, v. 29, n. 5, 2019, e01910.

- Furumo, P. R.; Aide, T. M. Using soundscapes to assess biodiversity in Neotropical oil palm landscapes. *Landscape Ecology*, v. 34, p. 911–923, 2019.
- Gascon, C.; Lovejoy, T. E.; Bierregaard Jr., R. O. et al. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation*, v. 91, p. 223-229, 1999.
- Jokimäki, J.; E. Huhta. Effects of landscape matrix and habitat structure on a bird community in northern Finland: a multi-scale approach. *Ornis Fennica*, v. 73, p. 97-113, 1996.
- Kennedy, C. M.; Grant, E. H. C.; Neel, M. C.; Fagan, W. F.; Marra, P. P. Landscape matrix mediates occupancy dynamics of Neotropical avian insectivores. *Ecological Applications*, v. 21, n. 5, p. 1837–1850, 2011.
- Latta, S. C.; Brouwer, N. L.; Olivieri, A.; Girard-Woolley, J.; Richardson, J. F. Long-term monitoring reveals an avian species credit in secondary forest patches of Costa Rica. *PeerJ* 5:e3539. DOI 10.7717/peerj.3539.
- Lees, A. C.; Peres, C. A. Habitat and Life History Determinants of Antbird Occurrence in Variable-Sized Amazonian Forest Fragments. *Biotropica*, v. 42, n. 5, p. 614–621, 2010.
- Leisher, C.; Touval, J.; Hess, S. M.; Boucher, T. M.; Reymondin, L. Land and Forest Degradation inside Protected Areas in Latin America. *Diversity*, v. 5, p. 779-795, 2013.
- López-Ricaurte, L.; Edward, D. P.; Romero-Rodríguez, N.; Gilroy, J. J. Impacts of oil palm expansion on avian biodiversity in a Neotropical natural savanna. *Biological Conservation*, v. 213, p. 225–233, 2017.
- Löwenberg-Neto, P. Neotropical region: a shapefile da regionalização biogeográfica de Morrone. *Zootaxa*, v. 3802, n. 2, p. 300-300, 2014. Disponível em: <https://sites.google.com/site/biochartis/>. Acesso em 21 de out. de 2019.
- Luz, H. R.; Faccini, J. L. H.; Landulfo, G. A.; Berto, B. P.; Ferreira, I. Bird ticks in an area of the Cerrado of Minas Gerais State, southeast Brazil. *Experimental and Applied Acarology*, v. 58, p. 89–99, 2012.
- Marini, M. Â.; Robinson, S. K.; Heske, E. J. Edge effects on nest predation in the Shawnee National Forest, Southern Illinois. *Biological Conservation*, v. 74, p. 203-213, 1995.
- Maya-Elizarrarás, E.; Schondube, J. E. Birds, Cattle, and Bracken Ferns: Bird Community Responses to a Neotropical Landscape Shaped by Cattle Grazing Activities. *Biotropica*, v. 47, n. 2, p. 236–245, 2015.
- Melo, C.; Marini, M. Â. Predação de ninhos artificiais em fragmentos de matas do Brasil Central. *Ornitologia Neotropical*, v. 8, p. 7-14, 1997.
- Michalski, F.; Peres, C. A. Gamebird responses to anthropogenic forest fragmentation and degradation in a southern Amazonian landscape. *PeerJ* 5:e3442; DOI 10.7717/peerj.3442

- Morrone, J.J. (2014) Biogeographical regionalisation of the Neotropical region. *Zootaxa*, 3782 (1), 1–110. <http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3782.1.1>
- Myers, N.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Fonseca, G. A. B.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, p. 853–858, 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Newton, I., Dale, L. A comparative analysis of the avifaunas of different zoogeographical regions. *Journal of Zoology*, v. 254, p. 207-218, 2001.
- QGIS Development Team. QGIS Geographical Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org/>. Acesso em 30 de out. de 2020.
- QS Quacquarelli Symonds. 2020. Disponível em: <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020>. Acessado em 01 de dez. 2020.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. <https://www.R-project.org/>.
- Ricketts, T. H. "The Matrix Matters: Effective Isolation in Fragmented Landscapes." *The American Naturalist*, v. 1, p. 87-99, 2001.
- Ribon, R.; Simon, J. E.; De Mattos, G. T. Bird extinctions in atlantic forest fragments of Viçosa region, southeastern Brazil. *Conservation Biology*, v. 17, p. 1827-1839, 2003.
- Santamaría-Rivero, W.; Leyequién, E.; Hernández-Stefanoni, J. L.; Wood, P. Influence of landscape structure and forest age on the richness and abundance of different bird feeding guilds and forest-dependent birds in a seasonal dry tropical forest of Yucatan, Mexico. *Tropical Ecology*, v. 57, n. 2, p. 313-332, 2016.
- Sam, K.; Koane, B.; Jeppy, S.; Vovotny, V. Effect of forest fragmentation on bird species richness in Papua New Guinea. *Journal of Field Ornithology*, v. 85, p. 152-167, 2014.
- Salvio, G. M. M.; Gomes, C. R. Protected Area Systems in South American Countries. *Floresta e Ambiente*, v. 25, n. 4, 2018, e20171134.
- Sigel, B. J.; Sherry, T. W.; Young, B. E. Avian Community Response to Lowland Tropical Rainforest Isolation: 40 Years of Change at La Selva Biological Station, Costa Rica. *Conservation Biology*, v. 20, p. 111-121, 2006.
- Simberloff, D. Equilibrium theory of island biogeography and ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 5, p. 161-182, 1974.
- Stratford, J. A.; Stouffer, P. C. Forest fragmentation alters microhabitat availability for Neotropical terrestrial insectivorous birds. *Biological Conservation*, v. 188, p. 109–115, 2015.

Vielliard, J. E. M.; Silva, W. R. Nova metodologia de levantamento quantitativo de avifauna e primeiros resultados no interior do Estado de São Paulo, Brasil. In: Mendes, S. (ed.) *Anais do IV Encontro Nacional de Anilhadores de Aves*. Recife: Editora da Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1990, p. 117-151.

Wiens, J. A. What is landscape ecology, really? *Landscape Ecology*, v. 7, n. 3, p.149–150, 1992.

Wojciechowski, J.; Ceschin, F.; Pereto, S. C.; Ribas, L. G. S.; Bezerra, L. A. V.; Dittrich, J.; Siqueira, T.; Padial, A. A. Contribuição científica latino-americana para a ecologia. A. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 89, n. 4, p. 2663-2674, 2017.

Young, B. E.; Sherry, T. W.; Sigel, B. J.; Woltmann, S. Nesting success of Costa Rican lowland rain forest birds in response to edge and isolation effects. *Biotropica*, v. 40, n. 5, p. 615–622, 2008.

Zuluaga, G. J. C.; Rodewald, A. D. Response of mixed-species flocks to habitat alteration and deforestation in the Andes. *Biological Conservation*, v. 188, p. 72-81, 2015.

## Material Suplementar

**Tabela S1.** Lista de artigos sobre respostas das aves à fragmentação na região neotropical, publicados entre 2009 e 2019. Dados extraídos dos artigos: AU = autores, TI = título, P = país, E = escala, NA = número de áreas, TM = tamanho médio das áreas, NO = nível de organização do estudo, CA = classificação da área, ET = escala temporal, ME = método, VP = variáveis preditoras, RP = resultado principal.

AU	TI	P	E	NA	TM	NO	CA	ET	ME	VP	RP
Aguilar et al. 2018	Patterns of avian haemosporidian infections vary with time, but not habitat, in a fragmented Neotropical landscape	Equador	Fragmento	22	15,9	Comunidade	Unidade de Conservação	0,4	Rede de neblina	Número de árvores, número de <i>Cecropia</i> , abertura do dossel e altura do dossel	Pouco efeito das características do fragmento sobre o estado de infecção das aves.
Akresh; King; Marra, 2019	Rainfall and habitat interact to affect the condition of a wintering migratory songbird in The Bahamas	Bahamas	Fragmento	6	6,1	Comunidade	Particular	4	Rede de neblina	Precipitação, altura do dossel, classificação da vegetação e substrato de forrageamento.	aves migratórias são sensíveis à variação anual nas chuvas e a qualidade do habitat.
Alexandrino et al. 2016	Bird sensitivity to disturbance as an indicator of forest patch conditions: An issue in environmental assessments	Brasil	Fragmento	-	-	Comunidade	Particular	1	Pontos de escuta e transecto	Idade média do fragmento, domínio do entorno da floresta, proximidade e contiguidade da floresta.	a riqueza de espécies dos níveis de sensibilidade de cada ave de Parker não necessariamente atua como um indicador ecológico na escala local
Bailey e King, 2019	Habitat selection and habitat quality for wintering wood thrushes in a coffee growing region in Honduras	Honduras	Paisagem	12	-	População	Particular	0,4	Redes de neblina	DAP, estrutura vertical e tipo de vegetação do sub-bosque e sub-dossel, profundidade de serapilheira.	Preferência por paisagem com matriz de café e habitats agrícolas abertos.
Banks-Leite; Ewers e Metzger, 2010	Edge effects as the principal cause of area effects on birds in fragmented secondary forest	Brasil	Fragmento	31	-	Comunidade	Particular	2	Redes de neblina	DAP, número de bromélias, estratificação e altura da vegetação.	As comunidades exibiram forte efeito de borda e área.
Bellocoq et al. 2011	Responses in the abundance of generalist birds to environmental gradients: The rufous-collared	Argentina	Paisagem	41	-	Comunidade	Particular	-	Pontos de escuta	Temperatura, precipitação, NDVI, evapotranspiração, porcentagem de: cobertura de bosque, agricultura, pastagem,	As espécies responderam positivamente ao aumento da produtividade primária,

	sparrow ( <i>Zonotrichia capensis</i> ) in the southern Neotropics									urbanização, áreas verdes e área rural.	intensidade agrícola, degradação e conversão de florestas nativas e negativamente ao aumento da urbanização.
Bennett et al. 2018	Conservation of Neotropical migratory birds in tropical hardwood and oil palm plantations	Guatemala	Paisagem	-	-	Comunidade	Particular	2	Pontos de escuta	Número de árvores, DAP, densidade e altura da vegetação de sub-bosque, porcentagem de cobertura de dossel, presença ou ausência de recurso hídrico, cobertura da paisagem.	Diversidade estrutural vertical e árvores remanescentes são características de habitat importantes para pássaros em paisagens agrícolas.
Berkunsky et al. 2015	Assessing the use of forest islands by parrot species in a neotropical Savanna	Bolívia	Fragmento	60	-	Populações	particular	0,25	Detecção vocal e visual.	Presença de palmeira urucuri, número de cavidades arbóreas, corte seletivo e fogo.	Os recursos e variáveis de ameaça explicaram o uso de fragmentos por papagaios. O número de cavidades arbóreas associou positivamente com o uso de fragmentos.
Biz; Cornelius e Metzger, 2017	Matrix type affects movement behavior of a Neotropical understory forest bird	Brasil	Paisagem	30	-	População	particular	0,8	Redes de neblina e transecto.	Tipo de matriz: pastagem, milho e eucalipto.	A manutenção ou criação de matrizes semelhantes aos habitats de floresta nativa parece ser uma estratégia eficiente para aumentar a conectividade em paisagens fragmentadas
Borges et al. 2016	Bird Communities in Amazonian White-Sand Vegetation Patches: Effects of Landscape	Brasil	Paisagem	-	-	Comunidade	Particular e unidade de conservação	4	Redes de neblina e pontos de escuta	Área, relação perímetro-área, distância para o vizinho mais próximo e para o	A configuração da paisagem influencia os padrões de diversidade.

	Configuration and Biogeographic Context									curso d'água mais próximo, índice de proximidade.	
Borges e Marini, 2009	Birds nesting survival in disturbed and protected Neotropical savannas	Brasil	Paisagem	2	-	Comunidade	Particular e unidade de conservação	0,33	Busca ativa	Presença ou ausência de ninhos em paisagens perturbadas e protegidas.	Paisagem perturbada influenciou negativamente o sucesso dos ninhos.
Bradfer-Lawrence; Gardner e Dent, 2018	Canopy bird assemblages are less influenced by habitat age and isolation than understory bird assemblages in Neotropical secondary forest	Panamá	Fragmento	12	-	Comunidade	Particular	0,25	Pontos de escuta	Idade da floresta e estratos da vegetação.	a idade do habitat e o isolamento afetaram mais as aves do sub-bosque do que as que vivem no dossel. As florestas secundárias podem oferecer refúgio crítico para muitas espécies de pássaros, particularmente os habitantes especialistas em dossel.
Carrara et al. 2015	Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico	México	Paisagem	20	- (3 a 92 ha)	Comunidade	Particular e unidade de conservação	0,3	Pontos de escuta	Porcentagem de cobertura vegetal da paisagem (florestas primárias e secundárias), número de fragmentos, densidade da paisagem e da borda.	As espécies especialistas de florestas são mais afetadas pela perda da cobertura florestal, enquanto aves generalistas de habitat são favorecidas pela perda e fragmentação.
Carrete et al. 2009	Effects of habitat degradation on the abundance, richness and diversity of raptors across Neotropical biomes	Argentina	Paisagem	391	-	Comunidade	Particular	4	Busca ativa em transecto	Tamanho longitudinal do fragmento, categoria do fragmento (habitats naturais, natural e terras cultivadas, terras cultivadas e áreas urbanizadas).	Comunidades de raptos fortemente em relação às transformações de habitat, com menor abundância de indivíduos, riqueza e diversidade de

											espécies em paisagens mais transformadas.
Carvajal-Rueda e Losada-Prado, 2011	Comunidades de raptos variaram fortemente em relação às transformações de habitat, com menor abundância de indivíduos, riqueza e diversidade de espécies em paisagens mais transformadas.	Colômbia	Paisagem	1	98	População	particular	0,9	Pontos de escuta	DAP, espécie de plantas, cobertura de diferentes tipos de vegetação da matriz.	<i>Leptotila conoveri</i> sobrevive em locais degradados e paisagens rurais em áreas com densidade de vegetação rasteira e oferta abundante de sementes.
Codesido et al. 2009	Respuestas de un ensamble de aves a la remoción manual de arbustos en un bosque subtropical semiárido del chaco argentino	Argentina	Fragmento	2	200	Comunidade	Particular	2	Pontos de escuta	Estrutura da vegetação: altura média, cobertura da vegetação em diferentes extratos,	A remoção de arbustos tem grande influência na estrutura das assembleias de aves, faixas de arbustos devem ser mantidas para garantir a diversidade de aves na paisagem.
Castaño-Villa; Estevez e Fontúrbel, 2014	The role of native forest plantations in the conservation of Neotropical birds: the case of the Andean alder	Colômbia	Paisagem	8	6,75	Comunidade	Unidade de conservação	0,6	Rede de neblina e pontos de escuta	Comparação entre floresta secundária e plantações florestais de almeiro.	Monoculturas de plantas nativas são valiosas para a conservação de aves em paisagem altamente fragmentadas.
Claudino; Mota-Júnior e Antonini, 2018	Owl assemblages in fragments of atlantic forest in Brazil	Brasil	Paisagem	6	2	Comunidade	Unidade de conservação	1	Transectos e reprodução de áudios de vocalizações	Área e relação borda-interior.	Riqueza e abundância não estão associadas a área dos fragmentos, mas estão com a borda.
Colorado; Mehlman e Valencia-C, 2018	Effects of floristic and structural features of shade agroforestry plantations on the migratory bird community in Colombia	Colômbia	Fragmento	9	-	Comunidade	particular	2	Transecto	DAP, area media basal da árvore, altura média e densidade das árvores, densidade de arbustos, cobertura de dossel, riqueza de espécies.	Abundância de aves migratórias foi positivamente associada a estrutura da vegetação: densidade de arbustos, cobertura de

											dossel, densidade de árvores e DAP.
Zuluaga e Rodewald, 2015	Response of mixed-species flocks to habitat alteration and deforestation in the Andes	Colômbia, Venezuela, Peru e Equador	Paisagem	11	-	Comunidade	Particular	4	Transecto	Densidade de árvores e arbustos, cobertura de dossel, cobertura do solo, área basal, altura do dossel.	Aves de sub-bosque requerem habitats mais florestados.
Cornelius et al. 2017	Habitat fragmentation drives inter-population variation in dispersal behavior in a Neotropical rainforest bird	Brasil	Paisagem	14	-	População	particular	1,25	Rede de neblina	Distância para o fragmento mais próximo e tipo de floresta (floresta contínua ou fragmentada).	Aves de paisagens fragmentadas são mais resistentes ao cruzar fronteiras e mais bem sucedidas ao cruzar a matriz em relação às aves de floresta contínua.
Meire et al. 2018	Habitat use by burnished-buff tanager ( <i>Tangara cayana</i> ) and great antshrike ( <i>Taraba major</i> ) in a human-modified landscape in southeast Brazil	Brasil	Paisagem	1	270	População	Particular	1,16	Pontos de escuta	Presença de árvores mortas em pé ou com artrópodes, árvores com frutos, gramíneas cobrindo mais de 30% do quadrante, altura e cobertura do dossel. Distância para: o curso d'água, a planície de inundação, a fazenda mais próxima, a estrada não pavimentada, a ferrovia e casas mais próximas.	<i>Tangara cayana</i> tem maior probabilidade de estar presente em pontos localizados na borda da floresta, próximos a corpos de água e com copas mais alta. A distância da atividade agropecuária foi a variável com maior influência na ocorrência de <i>Taraba major</i> .
De Stefano et al. 2012	Relacion entre la heterogeneidad ambiental y el patrón de distribución y la riqueza de aves en dos unidades de paisajes del delta del Parana, Argentina	Argentina	Paisagem	30	-	Comunidade	Particular	0,16	Pontos de escuta	Número de estratos arbóreos e sua cobertura, altura e abundância da vegetação, porcentagem de solo descoberto, porcentagem de água livre e profundidade.	A heterogeneidade foi associada com a estruturação das comunidades de aves.

Domínguez-López e Ortega-Álvarez, 2014	The importance of riparian habitats for avian communities in a highly humanmodified Neotropical landscape	Colômbia	Paisagem	4	102,5	Comunidade	Particular	0,16	Pontos de escuta	DAP, cobertura de árvores e arbustos, riqueza de espécies arbustivas, densidade de árvores, altura das árvores.	Habitats ribeirinhos mantêm diversas e complexas comunidades de aves.
Durães et al. 2013	Effects of forest disturbance and habitat loss on avian communities in a Neotropical biodiversity hotspot	Equador	Paisagem	13	20	Comunidade	particular	4,3	Redes de neblina	Número de árvores médias e grandes, altura e porcentagem de cobertura do dossel	Perturbação e perda de habitat interage para reduzir a biodiversidade de aves.
Echeverri et al. 2019	Precipitation and tree cover gradients structure avian alpha diversity in North-western Costa Rica	Costa Rica	Fragmento e paisagem	25	-	Comunidade	Unidade de conservação e particular	2	Pontos de escuta	Cobertura de árvores	Riqueza de aves está associada a altos níveis de cobertura de árvores na escala local da paisagem.
Estrada-Carmona, et al. 2019	Managing the farmscape for connectivity increases conservation value for tropical bird species with different forest-dependencies	Costa Rica	Paisagem	1	4371	Comunidade	particular	7	Redes de neblina	Composição e configuração da paisagem agrícola.	Cercas vivas são mais eficientes para aumentar a mobilidade das aves do que sistemas agroflorestais.
Filloy e Bellocq, 2013	Spatial variation in bird species abundances: Environmental constraints across southern Neotropical regions	Argentina	Paisagem	1	-	Comunidade	particular	-	Pontos de escuta	Cobertura da floresta, arbustivo, pastagem, campos cultivados e estepe.	Abundância de aves está associada a cobertura de habitat e variáveis climáticas.
Frishkoff et al. 2014	Loss of avian phylogenetic diversity in neotropical agricultural systems	Costa Rica	Paisagem	4	-	Comunidade	particular	12	Transecto	Comparação entre paisagens com monoculture intensiva, agricultura diversificada, configuração complexa da vegetação e cobertura de árvores.	Espécies intimamente relacionadas foram mais propensas a compartilhar preferências de habitat do que espécies distintamente relacionadas.
Frishkoff et al. 2016	Climate change and habitat conversion favour the same Species	Costa Rica	Paisagem	3	-	Comunidade	particular	12	Transecto	Comparação entre paisagens com reservas florestais, agricultura	As espécies mudam o hábito ao longo do gradiente de

										diversificada e agricultura intensiva.	precipitação, preferem florestas em regiões mais secas e usam a agricultura nas regiões úmidas.
Frishkoff e Karp, 2019	Species-specific responses to habitat conversion across scales synergistically restructure Neotropical bird communities	Costa Rica	Paisagem	25	-	Comunidade	Particular e unidade de conservação	2	Pontos de escuta	Cobertura da terra, qualidade e configuração da paisagem.	Aves são mais sensíveis à cobertura florestal local, mas as respostas dependem do contexto da paisagem.
Furumo e Aide, 2019	Using soundscapes to assess biodiversity in Neotropical oil palm landscapes	Colômbia	Paisagem	102	-	Comunidade	particular	0,25	Gravação	Comparação de paisagens sonoras entre fragmentos florestais e paisagens com sistemas de produção.	Fragmentos florestais degradados, plantações com copa fechada (dendê e banana) apresentam paisagem sonora mais diversificada do que paisagens dominadas por pastagem e agricultura.
Gómez e Bayly, 2010	Habitat use, abundance, and persistence of Neotropical migrant birds in a habitat matrix in northeast Belize	Belize	Paisagem	4	-	Comunidade	Particular e unidade de conservação	0,3	Transecto	Comparação de paisagens em diferentes tipos de hábitat.	Aves migrantes neotropicais no nordeste de Belize são dependentes de um matriz de habitats interconectados.
Guerta e Cintra, 2014	Effects of habitat structure on the spatial distribution of two species of tinamous (aves: tinamidae) in a amazon terra-firme Forest	Brasil	Fragmento	1	10.000 (25km <sup>2</sup> )	População	Unidade de conservação	0,5	Pontos de escuta	Distância para água, abundância de troncos mortos caídos, abertura de dossel, abundância de árvores, profundidade da serapilheira, elevação.	Aumento na abertura de dossel da floresta e a abundância de troncos mortos no chão esteve associado com uma das espécies avaliadas.
Hadley et al. 2017	Forest fragmentation and loss reduce richness, availability,	Costa Rica	Fragmento e paisagem	14	78,5/314	Comunidade	Particular	0,3	Redes de neblina	Tamanho da área, elevação, densidade de flores, espécies de flores e riqueza	Riqueza de colibris esteve positivamente associado com

	and specialization in tropical hummingbird communities									proporcional na paisagem.	tamanho das áreas.
Hart et al. 2018	Birdsong characteristics are related to fragment size in a neotropical Forest	Costa Rica	Paisagem	12	62,7	População	Particular	3	Gravação	Tamanho do fragmento.	A complexidade do canto diminui com a redução do tamanho do fragmento.
Hernández-Lara; González-García e Santiago-Alarcon, 2017	Spatial and seasonal variation of avian malaria infections in five different land use types within a Neotropical montane forest matrix	México	Paisagem	5	27,8	Comunidade	Particular e unidade de conservação.	2	Redes de neblina	Cobertura de dossel, abundância de árvores, cobertura de arbustos, cobertura do solo da serapilheira, cobertura do solo por herbáceas, cobertura do solo descoberto, DAP, altura máxima e riqueza de árvores, arbustos e herbáceas.	A parasitemia foi associada negativamente com cobertura de arbusto.
Hiley; Bradbury e Thomas, 2016	Impacts of habitat change and protected areas on alpha and beta diversity of Mexican birds	México	Paisagem	-	-	Comunidade	Particular e unidade de conservação	0,5	Pontos de escuta	Comparação de paisagens com diferentes níveis de proteção.	Em escala local, a modificação da vegetação aumentou a dissimilaridade da comunidade de aves.
Ibarra-Macias; Robinson e Gaines, 2011	Forest corridors facilitate movement of tropical forest birds after experimental translocations in a fragmented Neotropical landscape in Mexico	México	Paisagem	1	1780	População	Unidade de conservação	2	Redes de neblina	Área e distância dos locais de captura e soltura, comprimento e largura do corredor.	Há forte efeito positivo dos corredores no movimento das aves, mesmo para espécies não dependentes de floresta. Corredores mantêm a conectividade mesmo em paisagens altamente fragmentadas.
Ibarra-Macias; Robinson e Gaines, 2011	Experimental evaluation of bird movements in a fragmented Neotropical landscape	México	Paisagem	1	1780	Comunidade	Unidade de conservação	2	Redes de neblina	Área e distância dos locais de captura e soltura, comprimento e largura do corredor.	A distância entre um fragmento e outro tem forte efeito sobre aves na orientação e destino de aves

											dependentes de floresta.
Karp et al. 2019	Remnant forest in Costa Rican working landscapes fosters bird 11 communities that are indistinguishable from protected areas	Costa Rica	Paisagem	25	-	Comunidade	Particular e unidade de conservação	2	Pontos de escuta	Gradiente de cobertura florestal, fragmentação e precipitação.	As comunidades de aves em paisagens produtivas se assemelham à de paisagem protegidas.
Kennedy et al. 2010	Landscape matrix and species traits mediate responses of Neotropical resident birds to forest fragmentation in Jamaica	Jamaica	Paisagem	20	100	Comunidade	Particular	3	Pontos de escuta	Comparação de diferentes tipos de matriz.	Riqueza, abundância e composição de comunidades de aves são dependentes da matriz.
Kennedy et al. 2011	Landscape matrix mediates occupancy dynamics of Neotropical avian insectivores	Jamaica	Paisagem	20	100	Comunidade	Particular	3	Pontos de escuta	Tipo de matriz, área, isolamento do fragmento e estrutura da vegetação.	Os efeitos da área, isolamento e estrutura da vegetação dependem do tipo de matriz e da espécie de ave.
Kennedy; Zipkin e Marra, 2017	Differential matrix use by Neotropical birds based on species traits and landscape condition	Jamaica	Paisagem	13	100	Comunidade	Particular	0,33	Pontos de escuta	Tipo de matriz, área, isolamento do fragmento e estrutura da vegetação.	O uso da matriz está associado a espécie e dependência de flores, espécies de áreas abertas e migratórias utilizam mais a matriz.
Lata et al. 2017	Long-term monitoring reveals an avian species credit in secondary forest patches of Costa Rica	Costa Rica	Paisagem	3	-	Comunidade	Particular	8	Redes de neblina e pontos de escuta.	Diversidade de árvores e arbustos, altura média de árvores e arbustos, cobertura de dossel, DAP.	Houve aumento de espécies de florestas primárias e redução das espécies de florestas secundárias e de borda.
Lata et al. 2018	Avian community characteristics and demographics reveal how conservation value of regenerating tropical dry forest changes with forest age	República Dominicana	Paisagem	4	-	Comunidade	Particular	5	Redes de neblina	Comparação de paisagem florestais com diferentes idades de regeneração.	Presença de árvores remanescentes, sub-bosque de arbustos na matriz e proximidade com a floresta madura afetou a

											diversidade e abundância, mas regeneração de florestas não compensam totalmente a perda de habitat de florestas maduras.
Lees e Peres, 2010	Habitat and Life History Determinants of Antbird Occurrence in Variable-Sized Amazonian Forest Fragments	Brasil	Paisagem	31	5.647	Comunidade	Particular	2	Pontos de escuta	Área do fragmento, índice de forma, cobertura do dossel, densidade do sub-bosque, índice de qualidade do habitat, porcentagem de dossel de floresta fechada, porcentagem de floresta 1 km de buffer, distância para o fragmento mais próximo.	Riqueza foi associada positivamente pela área e isolamento do fragmento.
Lefevre e Rodd, 2009	How human disturbance of tropical rainforest can influence avian fruit removal	Trinidad e Tobago	Paisagem	1	3.500	Comunidade	Unidade de conservação	-	Uso de infrutescências artificiais produzidas por frutos naturais.	Cobertura de dossel, abundância de frutas e abundância de aves frugívoras.	Não houve diferença significativa na taxa de remoção de frutas entre os habitats florestais.
Lefevre; Sharma e Rodd, 2012	Moderate Human Disturbance of Rain Forest Alters Composition of Fruiting Plant and Bird Communities	Trinidad e Tobago	Paisagem	1	3.500	Comunidade	Unidade de conservação	-	Pontos de escuta e redes de neblina.	Nível de perturbação, cobertura de dossel e abundância de plantas.	Cobertura de dossel e abundância de plantas explicou a variação nas assembleias de aves.
Lima-Rezende; Souza e Caparroz, 2019	The spatial genetic structure of the White-banded Tanager (Aves, Passeriformes) in fragmented Neotropical savannas suggests two evolutionarily significant units	Brasil	Paisagem	9	-	População	Unidade de conservação	4	Redes de neblina	Comparação entre áreas fragmentadas e não fragmentadas.	Áreas fragmentadas não apresentaram menor diversidade genética comparado com áreas não fragmentadas.
López-Ricaurte et al. 2017	Impacts of oil palm expansion on avian	Colômbia	Paisagem	3	-	População	Particular	0,16	Pontos de escuta	Solo descoberto, distância para a mata ciliar mais próxima,	Riqueza e abundância está positivamente

	biodiversity in a Neotropical natural Savanna									cobertura de floresta remanescente.	associado a proximidade de áreas remanescentes e negativamente a áreas antropizadas.
Losada-Prado et al. 2014	Home-range size of chestnut-backed antbird ( <i>Myrmeciza exsul</i> ) in fragmented landscapes in southwestern Costa Rica	Costa Rica	Paisagem	2 (8)	-	População	Unidade de conservação	1	Redes de neblina (captura e recaptura), rádio transmissor e observação visual.	Cobertura de: floresta, cultura permanente, cultura anual, pastagens, pastagem com plantas lenhosas, arbustos e diferentes usos, densidade da área basal, DAP, cobertura do dossel.	A área de vida foi influenciada pelas características do fragmento (área basal e densidade de árvores).
Loures-Ribeiro; Manhães e Dias, 2011	Sensitivity of understory bird species in two different successional stages of the lowland Atlantic Forest, Brazil	Brasil	Paisagem	2	100	Comunidade	Unidade de conservação	0,4	Pontos de escuta	Comparação entre florestas primárias e secundárias.	Mais espécies tiveram menor abundância na floresta secundária.
MacGregor-Fors e Schondube, 2010	Use of Tropical Dry Forests and Agricultural Areas by Neotropical Bird Communities	México	Paisagem	4	-	Comunidade	Unidade de conservação e particular	0,08	Pontos de escuta	Número de estratos verticais da vegetação, distância para o fragmento mais próximo e distância de cada ponto para o fragmento mais próximo.	Riqueza de aves esteve relacionado com estrutura do habitat e localização dentro da matriz. Áreas com campos de cultivo são mais pobres em espécies de aves.
MacGregor-Fors et al. 2018	Where are the birds in the matrix? Avian diversity in a Neotropical landscape mosaic	México	Fragmento	5	-	Comunidade	Particular	2	Pontos de escuta	Estrutura da vegetação: riqueza e densidade de árvores, DAP, riqueza, cobertura e altura de árvores, arbustos e herbáceas.	Houve diferença significativa entre as áreas somente durante a estação de reprodução. Com maior riqueza em fragmentos florestais.
Mahoney et al. 2018	Fruit removal by large avian frugivores varies in relation to habitat quality in continuous neotropical rainforest	Equador	Paisagem	1	130	Comunidade	Unidade de conservação	8	Busca ativa	Cobertura e altura do dossel, número de <i>Cecropia</i> sp., número de árvores grandes, cobertura	A variação na estrutura da floresta pode impactar o processo de remoção e

										de dossel da árvore focal.	dispersão de sementes.
Marini, 2010	Bird movement in a fragmented Atlantic Forest Landscape	Brasil	Fragmento	4	145,4	Comunidade	Unidade de conservação	6	Redes de neblina	Avaliação do movimento de dispersão pela matriz entre fragmentos de diferentes tamanhos e distâncias.	Aves florestais conseguem dispersar na matriz de pasto por até 650 metros.
Marini, 2017	Nesting success of birds from Brazilian Atlantic Forest fragments	Brasil	Fragmento	2	125	Comunidade	Unidade de conservação	5	Busca ativa	Comparação do sucesso de ninhos entre borda e interior.	Não houve diferença significativa no sucesso entre borda e interior.
Martensen et al. 2012	Associations of Forest Cover, Fragment Area, and Connectivity with Neotropical Understory Bird Species Richness and Abundance	Brasil	Paisagem	53	29,9	Comunidade	Particular	2	Redes de neblina	Níveis de conectividade, área de floresta ligada por corredores, área de floresta ao redor do fragmento,	A relação entre cobertura florestal e riqueza de aves diferiram dependendo da sensibilidade das espécies à fragmentação. Para espécies sensíveis há associação positiva entre cobertura florestal e riqueza. Tamanho do fragmento e riqueza de aves foram associados com riqueza e abundância.
Maya-Elizarrarás e Schondube, 2015	Birds, Cattle, and Bracken Ferns: Bird Community Responses to a Neotropical Landscape Shaped by Cattle Grazing Activities	México	Paisagem	6	-	Comunidade	Particular	0,25	Pontos de escuta	Número de camadas de vegetação, altura mínima e máxima de árvores, arbustos, herbáceas e samambaias, cobertura de cada camada, cobertura de solo descoberto, DAP, riqueza e número de árvores.	A diversidade de aves é alta em florestas secundárias e baixa em paisagens dominadas por pastagem e samambaias. Riqueza de árvores esteve associado com riqueza de aves.

McDermott e Rodewald, 2014	Conservation value of silvopastures to Neotropical migrants in Andean forest flocks	Colômbia	Paisagem	9	10	Comunidade	Particular	3	Transecto	Área basal e abundância de árvores, índice de abundância de obstáculo, cobertura aérea, matéria herbácea no sub-bosque, complexidade vertical.	Áreas antropizadas apresentam bandos menores e menor diversidade de aves.
Michalski e Peres, 2017	Gamebird responses to anthropogenic forest fragmentation and degradation in a southern Amazonian landscape	Brasil	Paisagem	129	510	Comunidade	Particular	4	Entrevista e transecto	Tamanho, grau de isolamento e tipo de matriz.	A área do fragmento foi o preditor mais forte de persistência de espécies, com ausência em fragmentos menores de 100 hectares.
Moreira; Riba-Hernández e Lobo, 2017	Toucans ( <i>Ramphastos ambiguus</i> ) facilitate resilience against seed dispersal limitation to a large-seeded tree ( <i>Virola surinamensis</i> ) in a human-modified landscape	Costa Rica	Paisagem	1	800	Comunidade	Particular	2	Busca ativa	Nível de perturbação da floresta.	Árvores em paisagens com baixos níveis de perturbação eram mais susceptíveis de serem visitadas por dispersores de sementes.
Moura et al. 2016	Idiosyncratic responses of Amazonian birds to primary forest Disturbance	Brasil	Paisagem	31	-	Comunidade	Particular	2	Pontos de escuta	Profundidade de serapilheira, número de árvores mortas, Classes de perturbação, altura das árvores, DAP, riqueza, densidade de sub-bosque, distância para a borda da floresta, biomassa.	A distância até a borda da floresta e biomassa de árvores grandes são os preditores mais importantes para espécies de aves.
Pereira et al. 2009	Efeitos diretos e indiretos da fragmentação sobre as redes de nidificação	Brasil	Paisagem	9	44,37	Comunidade	Particular	2	Pontos de escuta	Área, troncos de árvores mortas e densidade de cavidades.	O tamanho do fragmento esteve associado com a riqueza de espécies de dendrocolaptidae.
Politi; Hunter Jr e Rivera, 2010	Availability of cavities for avian cavity nesters in selectively	Argentina	Paisagem	11	100	Comunidade	Particular	3	Busca ativa	Métricas relacionadas a árvore: altura e abundância de	Em florestas exploradas há uma densidade significativamente

	logged subtropical montane forests of the Andes									árvores vivas e mortas, número de tocos, espécie, DAP, condição, altura da cavidade, DAP na altura da cavidade.	menor de cavidades potencialmente utilizáveis.
Powell et al. 2015 <sup>a</sup>	Changes in Habitat Use at Rain Forest Edges Through Succession: a Case Study of Understory Birds in the Brazilian Amazon	Brasil	Paisagem	11	22,3	População	Particular	3	Redes de neblina e rádio transmissor	Borda e interior, classes de idade da floresta secundária.	As espécies estudadas evitaram a floresta secundária com menor idade.
Powell et al. 2015 <sup>b</sup>	Heterogeneous movement of insectivorous Amazonian birds through primary and secondary forest: A case study using multistate models with radiotelemetry data	Brasil	Paisagem	9	-	População	Particular	3	Redes de neblina e rádio transmissor	Classes de idade da floresta secundária.	A idade da floresta é um forte indicador de fidelidade ao habitat.
Ribon e Marini, 2016	Small territory sizes and high densities of insectivorous birds in an Atlantic Forest secondary fragment, Brazil	Brasil	Paisagem	1	384	Comunidade	Particular	1,25	Redes de neblina, identificação visual e auditiva.	Comparação da área de vida entre diferentes florestas secundárias.	Os tamanhos dos territórios de muitas aves da Mata Atlântica são muito menores e a densidade maior comparado com espécies coespecíficas da Amazônia devido, provavelmente, a maior produtividade e perda de espécies concorrentes.
Ruiz-Sánchez; Renton e Rueda-Hernández, 2017	Winter habitat disturbance influences density and territory size of a Neotropical migratory warbler	México	Paisagem	3	66,3	População	Particular e unidade de conservação	3	Pontos de escuta e redes de neblina	Altura das árvores, abundância e área basal, altura e abundância de arbustos.	Tamanho do território e condição corporal foi constante em aves de floresta conservada, mas exibiu altas flutuações na

											floresta perturbada.
Santamaría-Rivero et al. 2016	Influence of landscape structure and forest age on the richness and abundance of different bird feeding guilds and forest-dependent birds in a seasonal dry tropical forest of Yucatan, Mexico	México	Paisagem	23	100	Comunidade	Particular	2	Pontos de escuta	DAP e altura de plantas lenhosas, idade da vegetação, abundância proporcional de cada tipo de área, densidade de borda e do fragmento, complexidade da forma do fragmento, proximidade de tipos de fragmentos semelhantes, similaridade de fragmentos vizinhos e contraste de borda.	A idade da floresta esteve associado a um aumento da riqueza de espécies de aves vulneráveis à modificação do hábitat e dependentes de floresta.
Segura e Arturi, 2012	La estructura del hábitat influye en la abundancia del cardenal común ( <i>Paroaria coronata</i> ) en un bosque templado de Argentina	Argentina	Paisagem	-	-	População	Unidade de conservação	3	Transecto	Três tipos de hábitat: floresta densa, borda da floresta densa e floresta aberta.	A abundância de aves foi maior na floresta aberta e na borda da floresta densa.
Shaw et al. 2013	Decadal changes and delayed avian species losses due to deforestation in the northern Neotropics	México	Paisagem	-	-	Comunidade	Unidade de Conservação	31	Redes de neblina	Dados de perda e fragmentação a longo prazo.	Houve declínio ou desaparecimento de 12 espécies em 31 anos de estudo.
Sheldon e Nadkarni, 2013	The use of pasture trees by birds in a tropical montane landscape in Monteverde, Costa Rica	Costa Rica	Paisagem	3	6,3	Comunidade	Particular	0,25	Busca ativa	Altura da árvore, DAP, distância da borda da floresta, área basal das árvores vizinhas e número de árvores vizinhas.	Árvores maiores, mais isoladas e com epífitas atraíram mais aves.
Stratford e Stouffer, 2015	Forest fragmentation alters microhabitat availability for Neotropical terrestrial insectivorous birds	Brasil	Paisagem	11	22,3	Populações	Particular	1	Busca ativa	Classes de tamanho das árvores, número de palmeiras e trepadeiras, número de folhas mortas e profundidade da serapilheira, altura do dossel.	Diminuição do tamanho dos fragmentos estava correlacionado com maior densidade de plantas altas, redução da cobertura de dossel e aumento da

											profundidade da serapilheira, habitats inadequados para insetívoros de sub-bosque.
Visco e Sherry, 2015	Increased abundance, but reduced nest predation in the chestnut-backed antbird in costa rican rainforest fragments: surprising impacts of a pervasive snake species	Costa Rica	Paisagem	1	300	População	Unidade de conservação e particular	6	Busca ativa e vídeo monitoramento	Comparação do sucesso reprodutivo em fragmentos e floresta contínua.	<i>Myrmeciza exsul</i> tiveram maior densidade de ninhos e menor taxa de predação em fragmentos. Melhor qualidade do habitat explicou maior probabilidade de predação.
Walter et al. 2017	Landscape-level tree cover predicts species richness of large-bodied frugivorous birds in forest fragments	Equador	Paisagem	22	16	Comunidade	Particular	1	Transecto	Cobertura de árvores circundante aos fragmentos, área, densidade de árvores grandes, elevação, altura do dossel e abertura do dossel.	Dados da paisagem esteve associado a riqueza. Maior riqueza e probabilidade de presença em fragmentos com mais cobertura de árvores nas terras circundantes.
Zuria e Gates, 2013	Community composition, species richness, and abundance of birds in field margins of central Mexico: local and landscape-scale effects	México	Paisagem	40	-	Comunidade	Particular	3	Transecto	Altura do estrato arbustivo e herbáceo, largura média da borda do campo, complexidade vertical da vegetação, porcentagem de copa e cobertura do solo, árvores (número, espécie, número de nativas, altura), distância para a rodovia e estrada de terra mais próxima, distância para o fragmento mais próximo.	O tamanho da borda do campo, a complexidade vertical da vegetação e a abundância de árvores e espécies de árvores teve um efeito positivo na riqueza e abundância de espécies de aves.

**RELAÇÃO ENTRE PERFIL ISOTÓPICO DE AVES E A  
FRAGMENTAÇÃO DO CERRADO**

## Resumo

Mudanças no uso da terra, promovidas principalmente pela expansão da fronteira agrícola, geram fragmentação e perda de hábitat que representam ameaças graves para a biodiversidade. O uso de isótopos estáveis não é comum em estudos de Ecologia de Paisagens, mas relacioná-los às alterações do hábitat parece ser um campo promissor. Nesse estudo utilizei isótopos estáveis de carbono e nitrogênio ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) obtidos em penas amostradas de 15 espécies de aves para testar as seguintes hipóteses: i) o perfil isotópico das aves irá variar em função do estado de fragmentação dos ambientes naturais (tamanho e isolamento); ii) há diferenças na composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre aves frugívoras, insetívoras e onívoras; iii) A composição isotópica das comunidades de aves difere entre classes de fragmentos quanto à qualidade da vegetação indicada pelo NDVI. Não encontrei associação entre a composição isotópica de carbono com métricas locais e da paisagem. O modelo que melhor determinou a composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  incluiu distância para o fragmento mais próximo, cobertura de dossel e número de fragmentos. Encontrei diferenças na composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  entre as guildas tróficas, aves insetívoras estavam menos empobrecidas, apresentando valores médios mais altos de  $\delta^{13}\text{C}$ . Frugívoros apresentaram mais empobrecidos, com menores valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , enquanto onívoros apresentaram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  relativamente amplos ( $-22,5 \pm 1,07$ ), ocupando posição intermediária entre insetívoros e frugívoros. Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  também diferiram significativamente entre as guildas tróficas. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  não diferiram significativamente entre as classes de fragmentos. Isótopos de carbono de origem C4 está amplamente disseminado nos tecidos das aves em paisagens fragmentadas do Cerrado do Brasil Central. Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  associado às distâncias entre o vizinho mais próximo reforça a influência da matriz agropecuária na dieta das aves. Aves que vivem em paisagens onde os fragmentos vizinhos estão mais próximos sofrem maior influência da matriz na dieta, mesmo em condições que representam qualidade do hábitat,

como alta cobertura de dossel. Apesar de registrar diferenças intraespecíficas, a composição isotópica reforça as diferentes respostas das aves à fragmentação do Cerrado e revelou a influência da matriz C4, agropecuária, na dieta das aves.

**Palavras-Chave:** Isótopos estáveis; Penas; Dieta; Carbono; Nitrogênio.

## Abstract

Changes in land use, mainly promoted by the expansion in the agricultural frontiers, resulting in fragmentation and habitat loss, represents serious threats to biodiversity. The use of stable isotopes is not common in Landscape Ecology's studies, but relating them to the habitat change seems to be a promising field. In this study I used carbon and nitrogen stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) obtained in feathers sampled of 15 species of birds to test the following hypothesis: i) the isotopic profile of birds will vary in function of the fragmentation state of the natural environment (size and isolation); ii) there are differences in the isotopic composition of  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  between frugivorous, insectivores and omnivorous birds; iii) The isotopic composition of the birds community differ between the fragments' category in terms of vegetation quality indicated by NVDI. I found no association between the carbon isotopic composition with local and landscape metrics. The model that best determined the isotopic composition of  $\delta^{15}\text{N}$  included, meanwhile the distance to the nearest fragment, canopy coverage and number of fragments. I found differences in the  $\delta^{13}\text{C}$  isotopic compositions, between the trophic guilds: insectivore birds were less depleted presenting average values higher than  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-21,4 \pm 3,10$ ). Frugivorous presented more depleted with a lower value of  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-23,8 \pm 1,22$ ), whereas omnivorous presented  $\delta^{13}\text{C}$  values relatively wide ( $-22,5 \pm 1,07$ ), occupying an intermediate position between insectivores and frugivorous. The  $\delta^{15}\text{N}$  values differ significantly among the trophic guilds, insectivores and omnivorous presented the largest averages of ( $8,5 \pm 1,02$ ;  $8,5 \pm 0,74$ ). The values of  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  did not differ significantly amongst the classes of fragments. The values of  $\delta^{15}\text{N}$  associated with the distance between the nearest neighbor reinforce the influence of the agriculture and cattle rising matrix in the bird's diet. Birds that live in a landscape where the neighbor fragments are nearby suffered the larger influence of the matrix in the diet, even in the

condition that represents habitat quality, as high canopy coverage. Despite registering intraspecific differences, the isotopic composition reinforces the different bird's responses to the Cerrado fragmentation and revealed the influence of the C4 matrix, agriculture, and cattle rising in the bird's diet.

**Keywords:** Stable isotopes; Feathers; Diet; Carbon; Nitrogen.

## **Introdução**

As principais ameaças à biodiversidade terrestre estão relacionadas com as mudanças no uso da terra (Newbold *et al.*, 2015), essas mudanças, em geral, estão associadas à expansão da fronteira agrícola (Primack e Rodrigues, 2001). Numa escala global, mais de 40% da superfície terrestre já é ocupada por atividades agropecuárias (Foley *et al.*, 2005). Tais alterações antrópicas no uso do solo promoveram fragmentação e perda de hábitat, aspectos que representam as ameaças mais graves para a biodiversidade (Turner, 1996; Brooks *et al.*, 2002). Em um cenário com previsão de aumento das áreas agrícolas, é esperado o declínio das populações de aves (Lamb *et al.* 2019). A fragmentação promove alterações na paisagem natural que incluem a redução de hábitat, aumento do número de fragmentos, diminuição no tamanho dos fragmentos e aumento do isolamento (Fahrig, 2003).

Nas últimas décadas muitos estudos procuraram entender os efeitos da fragmentação sobre a biodiversidade. As consequências da fragmentação na biodiversidade são diversas, incluindo extinção funcional (Galetti *et al.*, 2013), redução da riqueza e da abundância das espécies (Kurosawa e Askins, 2003; Banks-leite *et al.*, 2010; Rossetti *et al.*, 2017), declínio no tamanho das populações (Bender *et al.*, 1998), redução do sucesso reprodutivo de aves (Keyser *et al.*, 1998; Batáry e Báldi, 2004; Young *et al.*, 2008) e mudanças na composição das espécies florestais nas proximidades das bordas (Ibanez *et al.*, 2017).

A maioria dos estudos que procurou compreender os efeitos da fragmentação de hábitat sobre a biodiversidade em paisagens fragmentadas tem considerado, principalmente, a riqueza e abundância das espécies como variáveis dependentes. O uso de dados isotópicos de aves nessa área não é comum, mas relacioná-los às alterações no hábitat parece ser promissor na Ecologia de Paisagens. A presença de isótopos estáveis, acumulados nos tecidos das aves (penas e garras) podem fornecer dados importantes

sobre os locais de forrageamento em uma paisagem fragmentada, por exemplo, ao explorar a matriz ou um ambiente nativo os nutrientes absorvidos são fragmentados e seus componentes elementares são utilizados para formar as moléculas que compõem os tecidos (Del Rio *et al.*, 2009). Assim, a composição dos tecidos do consumidor reflete a sua dieta, o que permite verificar as mudanças de presa e hábitos de forrageamento dos animais (Manetta; Benedito-Cecilio, 2003).

As fontes alimentares das aves que ocorrem em paisagens fragmentadas podem ser provenientes de plantas lenhosas que possuem metabolismo C3 ou gramíneas, denominadas C4, predominantemente da matriz. A diferença entre essas plantas está no tipo de fracionamento do carbono durante a fotossíntese. Plantas C3 fixam o carbono, a partir do CO<sub>2</sub> atmosférico, em moléculas com três carbonos (ácido 3 fosfoglicérico – 3PGA) por via do Ciclo de Calvin, por esta razão, são chamadas plantas C3, enquanto as gramíneas que utilizam ácidos com quatro carbonos para fixação do carbono, são denominadas plantas C4. Cada tipo de via utilizada determina um fracionamento do isótopo, deixando mais pobre ou enriquecido, por exemplo, plantas C3 tem valores mais negativos para o carbono (média de -27,8‰) (Pereira e Benedito, 2007).

As redes alimentares apresentam um perfil isotópico que depende, principalmente, da via fotossintética, e são transmitidas para consumidores de nível superior (Hobson e Barlein, 2003). O uso de análises isotópicas pode também indicar a posição trófica dos animais (Post, 2002). Quando um indivíduo ingere um item alimentar qualquer em um determinado hábitat, os isótopos estáveis são incorporados nos tecidos em desenvolvimento da ave naquele momento (Guaraldo, 2014), formando assim uma assinatura isotópica relacionada ao microhábitat de forrageamento utilizado pela ave. Se esse tecido for uma pena, a informação isotópica fixada permanece inalterada até que ocorra a muda (Layman *et al.*, 2011; Wunder *et al.*, 2012). Para a maioria das espécies a

composição isotópica permanece disponível por até um ano, uma vez que a muda é anual (Sick, 1997). Então, as penas fornecem razões isotópicas do ambiente onde vivem que variam de semanas a meses, considerando o crescimento de uma pena ou toda a muda (Bearhop et al., 2003).

Diferente das penas o tempo de *turnover* de outros tecidos é rápido, por exemplo a taxa de renovação dos isótopos estáveis no sangue varia de 3,9 a 6,1 dias para  $\delta^{13}\text{C}$  (Pearson et al., 2003) e de 11 dias para  $\delta^{15}\text{N}$  (Hobson e Bairlein, 2003). O breve tempo de renovação de carbono e nitrogênio no sangue fornece informações de curto prazo sobre a dieta do organismo (Pearson et al., 2003). Considerando que o sangue pode refletir uma dieta recente e que aves podem fazer ajustes na dieta de acordo com a disponibilidade de recursos ao longo do ano, o uso da pena reflete melhor o uso do ambiente. Nesse sentido, a pena tem sido utilizada em muitos estudos isotópicos (Hobson e Barlein, 2003; Podlesak et al., 2005; Cherel et al., 2006; Quillfeldt et al., 2008; Cherel et al., 2013; Guaraldo, 2014; Domenech et al., 2015; Tonra et al., 2015; Nordell et al., 2016).

No grupo das aves, isótopos estáveis têm sido utilizados em duas abordagens principais, que são a compreensão dos processos migratórios (Fraser et al., 2008; Hobson et al., 2009; Reichlin et al., 2013; Guaraldo, 2014; Van Dijk et al., 2014) e a determinação do nível trófico, também denominado nicho isotópico (Martínez del Rio et al., 2009; Newsome et al., 2009; Hinke et al., 2015; Maldonado et al., 2017). Estudos que relacionam a composição isotópica, obtida das penas, com métricas da paisagem não foram registrados. Investigar essa relação no Cerrado pode fornecer informações inéditas acerca dos efeitos da fragmentação sobre as aves.

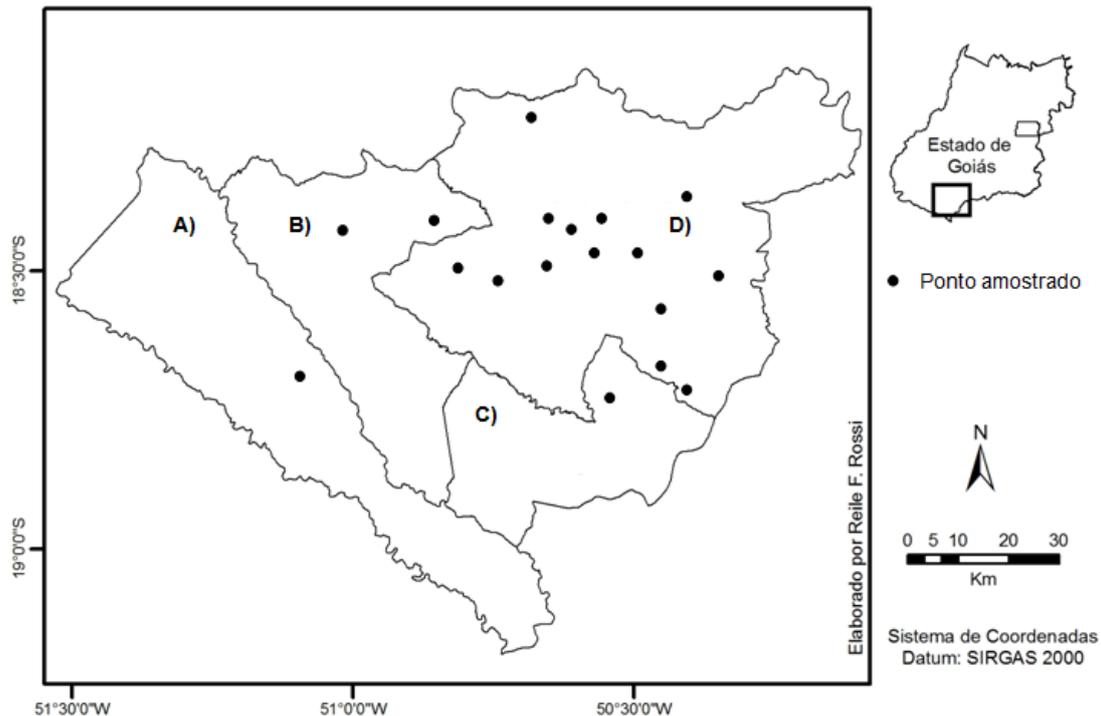
Assim, esse estudo tem como objetivo principal é verificar se existe associação entre o perfil isotópico de aves presentes em remanescentes florestais do Cerrado com métricas dos fragmentos e da paisagem. Para atingir esse objetivo testei as seguintes

hipóteses: H1 - existe associação entre a composição isotópica de carbono e nitrogênio com o estado de fragmentação dos ambientes naturais (qualidade, tamanho e isolamento), pois espera-se que existam diferentes perfis quando comparamos áreas menores e paisagens mais degradadas do que em áreas maiores e mais conectadas; H2 - há diferença da composição de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre as guildas tróficas, sendo que aves frugívoras apresentarão valores mais negativos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  em relação às espécies insetívoras e onívoras, pois as primeiras tendem a encontrar menor disponibilidade de fontes de alimento na matriz, composta predominantemente por plantas C4 enriquecidas de nitrogênio. Ademais, frugívoros são mais restritos aos fragmentos nativos evitando habitats da matriz (Şekerciöglu *et al.* 2015); H3 - há diferenças da composição isotópica de aves entre fragmentos mais antropizados, em relação a fragmentos menos descaracterizados.

## **Material e Métodos**

### *Área de estudo*

Esse estudo foi conduzido na região Centro-Oeste do Brasil, estado de Goiás, mesorregião Sul Goiano e microrregião “Quirinópolis”. As áreas amostradas pertencem aos municípios Cachoeira Alta, Caçu, Paranaiguara e Quirinópolis (Figura 1), que juntos cobrem 7.694 km<sup>2</sup> e possuem população estimada de 84.736 habitantes (IBGE, 2017). O clima da microrregião é tropical, classificado como Aw com duas estações bem definidas, chuva no verão (outubro a março), e seca no inverno (junho a setembro) (Alvares *et al.*, 2013). As precipitações apresentam médias que variam de 1.500 a 1.750 mm, com temperatura média anual de 23,8 °C (Borges, 2011).



**Figura 1.** Localização dos pontos amostrados e municípios envolvidos neste estudo, sul do estado de Goiás, Brasil. Caçu (A), Cachoeira Alta (B), Paranaiguara (C) e Quirinópolis (D).

O Cerrado sul goiano tem ocupação antiga, iniciada pelos bandeirantes paulistas e consolidada por famílias mineiras no início do século XIX. Entretanto, foi somente a partir de 1960, com a modernização da agricultura, é que ocorreram grandes mudanças no uso do solo nesta porção do Cerrado. O resultado é uma paisagem altamente fragmentada, com remanescentes florestais cercados por uma matriz com predomínio de pastagens ou plantios de cana-de-açúcar.

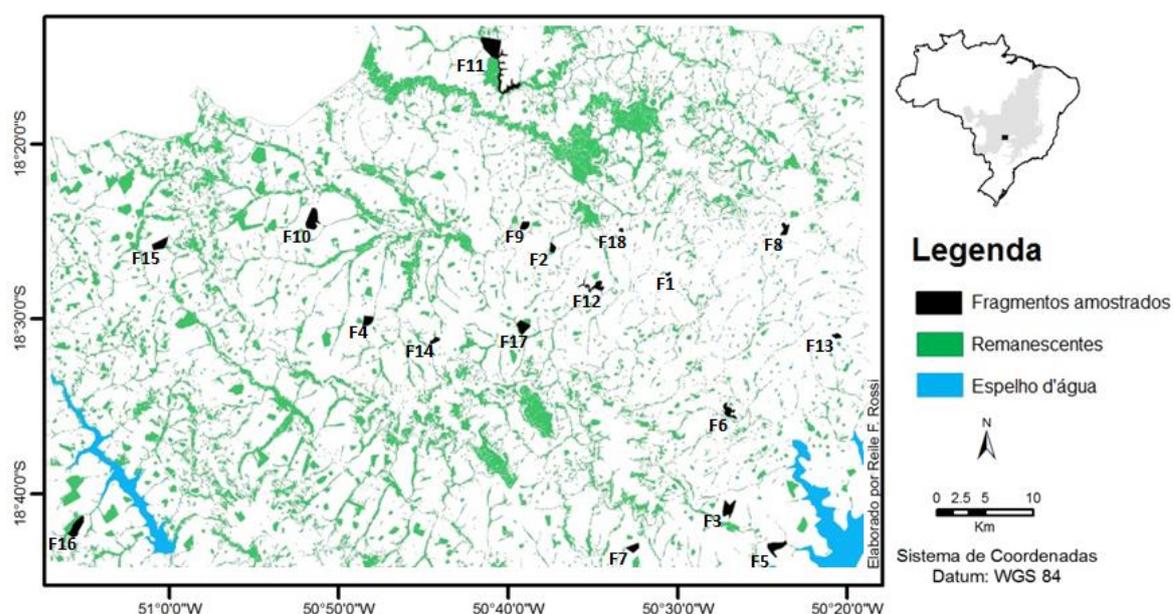
#### *Amostragem de aves*

Aves foram amostradas por meio de 14 redes de neblina (12 x 2,5m e malha de 25 mm) posicionadas em duas trilhas de 84 m em cada fragmento, sete redes em cada trilha, distantes 30 e 200 m da extremidade do fragmento, respectivamente. As redes

permaneceram abertas por cinco horas consecutivas, a partir do nascer do sol. Cada área foi amostrada por dois dias consecutivos entre abril e dezembro de 2017. Foram retiradas duas penas retrizes de cada ave, localizadas em lados opostos na segunda posição de fora para dentro (R2). As penas foram colocadas em sacos de papel vedados e identificados (número de identificação, nome da espécie, data, local e ponto). As aves foram marcadas com anilhas coloridas ou metálicas para individualização das capturas. A nomenclatura e a ordem taxonômica seguiram as do Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos, 2014).

Foram amostradas aves de 18 fragmentos de floresta estacional semidecídua (Figura 2). As áreas foram selecionadas para refletir a variação no tamanho, qualidade e conectividade da paisagem (Tabela 1). Os fragmentos possuem tamanho entre 13 e 479 ha ( $111 \pm 104,8$  ha). Uma das áreas, com 479 hectares, está entre os maiores remanescentes na região, correspondendo a uma unidade de conservação municipal de proteção integral, “Refúgio de Vida Silvestre Serra da Fortaleza”, criada em 2015 pelo município de Quirinópolis. A menor distância entre os fragmentos é de 3 km e as áreas mais distantes estão a 91 km.

Esse estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso Animal (CEUA) da Universidade de Brasília sob n.º 66720/20016 e possui licença para captura e coleta de material biológico (SISBIO n.º 54499-1) e autorização para anilhamento (n. 4205/1) obtida junto ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres – CEMAVE.



**Figura 2.** Localização da área de estudo na região centro-sul do Cerrado. Os 18 fragmentos florestais amostrados (F1-F18) estão realçados em preto, dispostos na matriz (cor cinza) e na paisagem com remanescentes (cor verde). O mapa em escala maior mostra parte da microrregião Quirinópolis.

**Tabela 1.** Relação das áreas onde aves foram amostradas no sul goiano, microrregião Quirinópolis, Goiás. Brasil. CF = código do fragmento, AT = área total (em hectares).

CF	AT	Município	Coordenadas Geográficas
F1	15	Quirinópolis	18°27'35.64"S / 50°30'46.14"O
F2	42	Quirinópolis	18°26'9.26"S / 50°37'39.34"O
F3	142	Quirinópolis	18°40'53.52"S / 50°27'18.04"O
F4	84	Quirinópolis	18°30'16.15"S / 50°48'36.68"O
F5	142	Quirinópolis	18°42'58.71"S / 50°24'33.67"O
F6	91	Quirinópolis	18°35'25.10"S / 50°27'15.43"O
F7	73	Quirinópolis	18°25'7.95"S / 50°23'49.39"O
F8	73	Paranaiguara	18°43'5.76"S / 50°32'52.32"O

F9	62	Quirinópolis	18°31'6.80"S / 50°20'46.63"O
F10	199	Cachoeira Alta	18°24'32.76"S / 50°51'53.73"O
F11	479	Quirinópolis	18°14'46.62"S / 50°41'16.41"O
F12	83,6	Quirinópolis	50°37'39.34"O / 50°43'39.39"O
F13	37	Quirinópolis	18°23'12.57"S / 50°19'37.74"O
F14	59	Quirinópolis	18°31'20.55"S / 50°44'34.68"O
F15	118	Cachoeira Alta	18°25'58.37"S / 51° 0'57.99"O
F16	169	Caçu	18°41'53.31"S / 51° 6'4.56"O
F17	115	Quirinópolis	18°30'33.03"S / 50°39'20.41"O
F18	15	Quirinópolis	18°25'6.99"S / 50°33'35.16"O

### *Análises ambientais*

A fim de obter dados da ocupação do uso do solo da área de estudo, coletados foram dados espaciais processados por meio de técnicas de sensoriamento remoto e analisados em ambiente de SIG. Foram obtidas imagens do satélite Landsat 8 (sensor OLI), órbita ponto 222/073, com resolução espacial de 30m, referente a junho e julho de 2014. Foi feita uma classificação não supervisionada, com posterior agrupamento e supervisão/correção e a validação feita com base em imagens de alta resolução disponíveis no programa Google Earth. Ao final, as imagens classificadas foram convertidas em um mapa binário (nativo, não-nativo), formato *shapefile*, no programa ArcGIS.

Foram selecionadas três métricas para os fragmentos e três para a paisagem do entorno de cada fragmento amostrado (Tabela 2), considerando um *buffer* de 2 km. As métricas foram obtidas por meio da extensão V-LATE v.2.0 (Z GIS, 2015) para o ArcGIS v.10.3.1 (ESRI, 2015) e do software QGIS v.3.16.1 (QGIS Development Team, 2020).

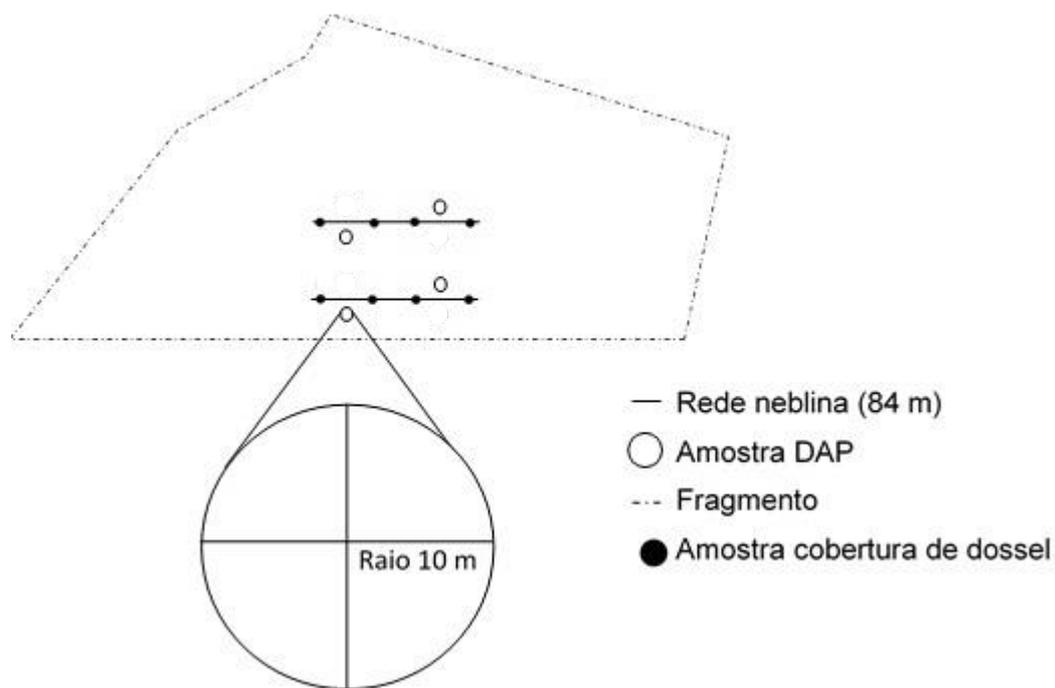
**Tabela 2.** Relação das métricas agrupadas por área temática. Dados da paisagem foram obtidos a partir de um *buffer* de 2 km para cada fragmento.

Escala	Sigla	Descrição das Métricas	Unidade
Fragmento	CA <sup>1</sup>	Área. Corresponde à área total do fragmento (m <sup>2</sup> ), dividido por 10.000 para converter em hectares.	ha
Fragmento	NDVI <sup>2</sup>	Índice da diferença normalizada da vegetação.	-
Fragmento	DAP	Diâmetro à altura do peito de plantas acima de 1,50 metros de altura.	cm
Fragmento	Cobertura de dossel	Porcentagem de área coberta pelo dossel.	(%)
Paisagem	PLAND <sup>1</sup>	Porcentagem da cobertura de vegetação nativa da paisagem. Soma das áreas (ha) de todos os fragmentos, dividido pela área de paisagem total (ha), multiplicado por 100 (para converter em uma porcentagem).	(%)
Paisagem	NP <sup>1</sup>	Número de fragmentos. Número total de fragmentos na paisagem.	-
Paisagem	NNDIST <sup>1</sup>	Distância média do vizinho mais próximo. Distância média da classe vizinha mais próxima ao nível de paisagem	m

Como variáveis relacionadas à qualidade da vegetação, foram calculados para cada fragmento focal o diâmetro médio à altura do peito (DAP), o *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI e a cobertura de dossel. Para obter o DAP médio, todas as plantas com mais de 1,5 m de altura foram medidas com fita métrica a 1,3 metros de altura dentro de quatro parcelas de 10 m de raio ( $\cong$  0,003 hectares), Figura 3.

<sup>1</sup> Métricas obtidas pela extensão V-LATE v.2.0 para o ArcGIS v.10.3.1.

<sup>2</sup> Métrica obtida a partir do software QGIS v.3.16.1.



**Figura 3.** Desenho amostral, esquema da organização dos pontos de amostras de aves (linha contínua), diâmetro a altura do peito (círculo vazio) e cobertura de dossel (círculo preenchido).

Os valores do NDVI foram calculados no QGIS com o uso de imagens do satélite Landsat 8 sensor OLI, obtidas na página da NASA (<http://goo.gl/Fgr4N>) para o período mais recente (2017). As imagens do Landsat 8 possuem 11 bandas e para o cálculo do NDVI foram utilizadas as bandas 4 e 5. A imagem NDVI é gerada com a fórmula  $(NIR - RED)/(NIR + RED)$ , onde NIR é a imagem do infravermelho próximo (*near-infrared*), banda 5, e RED é a imagem do vermelho, banda 4. Os dados de NDVI foram utilizados para classificar os fragmentos em três classes (Tabela 3). Para cada fragmento selecionei espécies de aves com os três hábitos alimentares (insetívoros, frugívoros e onívoros) que apresentaram o maior número de amostras.

A cobertura de dossel foi avaliada com auxílio de um quadrante de 0,25 m<sup>2</sup>, dividido em 100 quadrados por fios de algodão, conforme Freitas *et al.* (2002). Essa tela

foi mantida na posição horizontal acima da cabeça do observador, em direção ao dossel, com os braços estendidos. A proporção de quadrantes preenchidos pela vegetação foi considerada uma estimativa da cobertura de dossel. O valor da cobertura de dossel foi obtido a partir do valor médio obtido em quatro pontos ao longo de cada trilha.

**Tabela 3.** Identificação dos fragmentos de floresta estacional semidecidual, o tipo de classe, tamanho, NDVI e número de amostras de aves amostradas no sul do Estado de Goiás, Brasil. Classe 1 (0,252 – 0,319), Classe 2 (0,322 – 0,330); Classe 3 (0,332 – 0,344).

Classe	Fragmento	Área (ha)	NDVI	Número de amostras
1	F6	91,5	0,252	4
	F2	41,8	0,303	9
	F1	14,6	0,306	9
	F9	61,9	0,312	6
	F18	15,3	0,317	6
	F11	479	0,319	6
2	F12	95	0,322	9
	F16	169	0,324	7
	F8	72,6	0,327	6
	F13	37	0,327	5
	F7	72,7	0,328	6
	F14	59	0,330	7
3	F17	115,7	0,332	4
	F4	84	0,334	2
	F15	118	0,339	3
	F3	142,2	0,344	15
	F5	142	0,344	8
	F10	199	0,344	8

### *Análises isotópicas*

De cada ave utilizei uma pena, cujos resíduos foram inicialmente removidos com água destilada e, posteriormente, com a aplicação de uma mistura de clorofórmio:metanol, proporção 2:1. Por último, cada pena foi lavada novamente com água destilada e colocada para secar em estufa por 24 horas a 60°C. Entre 1.1 e 2 mg de pena foram utilizados para análise de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ , inicialmente cortadas e colocadas em uma cápsula de estanho.

Como existem diferenças no tamanho das penas entre as espécies, o material para análise foi obtido a partir de cortes feitos em diferentes regiões do vexilo, uma vez que existe baixa variação isotópica ao longo da pena para amostras de barbas e ráquis (Wassenaar e Hobson, 2006). Assim, a região de corte das penas foi padronizada para cada espécie. Espécies com penas pequenas e leves (e.g., *Dysithamnus mentalis* (Temminck, 1823)) e espécies grandes (e.g., *Momotus momota* (Linnaeus, 1766)) tiveram amostras ao longo de toda sua extensão. Considerei que as aves amostradas são residentes dos fragmentos uma vez que não são migratórias e que os indivíduos anilhados não foram recapturados em outros fragmentos, evitando a incorporação de razões isotópicas de outras áreas durante o crescimento da pena.

As razões isotópicas de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  de cada amostra de penas foram obtidas no Laboratório por meio de um espectrômetro de massa no Laboratório de Ecologia Isotópica do Centro de Energia Nuclear (CENA-USP), Piracicaba, São Paulo, Brasil. Nesse processo, o carbono da amostra é convertido em  $\text{CO}_2$  e o N em  $\text{N}_2$  gasoso, separados por uma coluna cromatográfica e depois inseridos no espectrômetro de massa. O valor encontrado é expresso em  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) em relação ao padrão internacional PDF e  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) em relação ao N atmosférico.

As razões isotópicas de carbono e nitrogênio foram determinadas por combustão utilizando um analisador elementar (Carlo Erba, CHN-1100) acoplado a um espectrômetro de massa Thermo Finnigan Delta Plus do Laboratório de Ecologia de Isótopos do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/Universidade de São Paulo), Piracicaba, SP, Brasil. Os resultados foram expressos em notação delta ( $\delta$ ), em partes por mil (‰), com base em padrão reconhecido internacionalmente. Usamos a seguinte equação:  $\delta^{15}\text{N}$  ou  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) =  $(R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) \times 1.000$ , onde  $R_{\text{sample}}$  e  $R_{\text{standard}}$  representam a razão molar do isótopo leve/peso da amostra e do padrão, respectivamente. O padrão usado para análise de carbono foi Vienna Pee Dee Belemite (Vienna PDB; proporção  $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$  razão = 0,01118), e o padrão usado para análise de nitrogênio foi o ar atmosférico (proporção  $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$  razão = 0,0036765). Padrões internos (solo tropical e folhas de cana-de-açúcar) são intercalados rotineiramente com amostras-alvo durante as execuções de análise. Os erros analíticos de longo prazo para os padrões internos são de 0,2 ‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ .

#### *Análises estatísticas*

Para testar a associação entre valores isotópicos  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  de aves presentes em paisagens fragmentadas com métricas do fragmento (área, DAP e cobertura de dossel) e da paisagem (cobertura da paisagem, número de fragmentos e distância para o vizinho mais próximo) utilizei modelo linear generalizado (GLM) segundo a regressão de Gaussian e os pacotes “nlme”, “dplyr”, “rms”, “MASS” e “MuMin” do R. Obtive o número de parâmetros ( $K$ ), o log-likelihood ( $LL$ ), o delta AICc ( $\Delta\text{AICc}$ ), e a pesagem AICc ( $w\text{AICc}$ ) de cada modelo. Para seleção de modelos considerei os valores de AICc  $< 2,0$ .

Foram realizadas duas análises para cada conjunto de dados ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ). Os valores isotópicos foram considerados como variável resposta e as métricas do fragmento (área, NDVI, cobertura de dossel e DAP médio) e da paisagem (cobertura da vegetação nativa, número de fragmentos e distância média para o vizinho mais próximo) como variáveis independentes.

O teste não-paramétrico Kruskal-Wallis foi utilizado para testar diferenças isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  entre os três grupos de aves (insetívoros, onívoros e frugívoros), pois as premissas de normalidade ( $W = 0,801$ ;  $P < 0,001$ ) e homogeneidade de variância ( $X^2 = 35.259$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0,001$ ) não foram atingidas. Para o conjunto de dados  $\delta^{15}\text{N}$  foi realizado uma ANOVA, pois essa base de dados apresentou normalidade ( $W = 0,985$ ;  $P = 0,235$ ) e homogeneidade de variância ( $X^2 = 4.7721$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,09$ ). O Kruskal-Wallis também foi utilizado para testar a hipótese de que há diferenças da composição isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  de aves entre fragmentos mais antropizados, em relação a fragmentos menos descaracterizados, uma vez que o conjunto de dados não são normais ( $W = 0,80121$ ,  $P < 0,0001$ ) e não apresentaram homogeneidade de variância ( $X^2 = 46.492$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0,0001$ ). Para esse teste, os fragmentos foram classificados em três classes de acordo com os valores de NDVI, Classe 1 (0,252 – 0,359), Classe 2 (0,322 – 0,330) e Classe 3 (0,332 – 0,344). ANOVA foi utilizada para a mesma análise com o conjunto de dados  $\delta^{15}\text{N}$  ( $W = 0,98587$ ,  $P = 0,2355$  e  $X^2 = 3.7641$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,1523$ ). Utilizei Shapiro-Wilk e Bartlett para testar as premissas normalidade e homogeneidade de variância respectivamente. Neste estudo foi considerado o nível de significância de 5% para as análises. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R versão 3.6.1 (R Development Core Team, 2019).

## Resultados

Foram analisadas 122 amostras de 15 espécies de aves pertencentes a três guildas tróficas, insetívoros (n = 9), onívoros (n = 4) e frugívoros (n = 2), (Tabela 4; Tabela 5; Tabela S1 - Material Suplementar). Não encontrei associação entre a composição isotópica de carbono com variáveis locais e da paisagem. Com referência aos dados para  $\delta^{15}\text{N}$  o melhor modelo incluiu cobertura de dossel, distância para o fragmento mais próximo e número de fragmentos (Tabela 6).

**Tabela 4.** Espécies de aves que tiveram penas amostradas para análise isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ), os respectivos fragmentos florestais de cerrado onde foram coletadas e o número de amostras por espécie.

Família/espécie	Dieta <sup>1</sup>	Fragmento	Número de amostras
Caprimulgidae			
<i>Nyctidromus albicollis</i> (Gmelin, 1789)	INS	F4	1
Momotidae			
<i>Momotus momota</i> (Linnaeus, 1766)	ONI	F1, F2, F3, F4, F8, F12, F13, F17 e F18	12
Bucconidae			
<i>Nonnula rubecula</i> (Spix, 1824)	INS	F16	1
Thamnophilidae			
<i>Dysithamnus mentalis</i> (Temminck, 1823) <sup>1</sup>	INS	F1, F2, F3, F5, F7, F8, F10, F13, F16 e F17	23
<i>Thamnophilus pelzelni</i> Hellmayr, 1924	INS	F16	3
Dendrocolaptidae			
<i>Dendrocolaptes platyrostris</i> Spix, 1825	INS	F16	1
Pipridae			
<i>Neopelma pallescens</i> (Lafresnaye, 1853)	FRU	F8 e F14	3
<i>Pipra fasciicauda</i> Hellmayr, 1906	FRU	F2 e F3	8
Tyrannidae			
<i>Casiornis rufus</i> (Vieillot, 1816)	INS	F5	1
Thudidae			
<i>Turdus leucomelas</i> Vieillot, 1818	ONI	F14	2
Passerellidae			
<i>Arremon taciturnus</i> (Hermann, 1783)	INS	F12	2
Parulidae			
<i>Basileuterus culicivorus</i> (Deppe, 1830)	INS	F10, F11 e F13	3

<i>Myiothlypis flaveola</i> (Baird, 1865)	INS	F1, F2, F3, F5, F7, F8, F9, F10, F11, F12, F13, F14, F15, F17 e F18	50
<b>Thraupidae</b>			
<i>Tangara cayana</i> (Linnaeus, 1766)	ONI	F3	4
<i>Eucometis penicillata</i> (Spix, 1825)	ONI	F5, F6, F7, F9, F10 e F12	8
<b>Total</b>			<b>122</b>

<sup>1</sup> Mota-Junior (1990), Marini (1992), Marini e Cavalcante (1993), Sick (1997), Anjos (2001), Piratelli e Pereira (2002), Durães e Marini (2005).

**Tabela 5.** Valores de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio para aves de fragmentos florestais do Cerrado, estado de Goiás, Brasil. N – número de amostras, Mín - mínimo, Méd – média, Máx – máximo, RA – range, SD - ± desvio padrão.

Táxon	N	$\delta^{15}\text{N}$					$\delta^{13}\text{C}$				
		Mín	Méd	Máx	RA	SD	Mín	Méd	Máx	RA	SD
<i>Arremon taciturnus</i>	2	6,5	7,1	7,6	1,1	0,77	-24,7	-24,5	-24,3	0,4	0,23
<i>Basileuterus culicivorus</i>	3	6,9	7,2	7,8	0,9	0,38	-22,4	-21,5	-21,1	1,3	0,75
<i>Casiornis rufus</i>	1	-	8,1	-	-	-	-	-24,4	-	-	-
<i>Dendrocolaptes platyrostris</i>	1	-	9,1	-	-	-	-	-22,7	-	-	-
<i>Dysithamus mentalis</i>	23	6,6	8,0	9,0	2,4	0,63	-25,3	-23,3	-21,9	3,4	0,98
<i>Eucometis penicillata</i>	8	7,3	8,3	9,0	1,7	0,51	-23,8	-23,1	-22,2	1,6	0,73
<i>Momotus momota</i>	12	7,0	8,7	10,0	3,0	0,86	-24,1	-22,1	-20,7	3,4	1,10
<i>Myiothlypis flaveola</i>	50	7,6	8,9	10,6	3,0	0,81	-24,5	-20,3	-9,7	14,8	3,35
<i>Neopelma pallescens</i>	3	6,8	8,5	9,8	3,0	1,28	-23,2	-22,1	-21,5	1,7	0,92
<i>Nonula rubecula</i>	1	-	5,7	-	-	-	-	-21,9	-	-	-
<i>Nyctidromus albicollis</i>	1	-	12,2	-	-	-	-	-14,9	-	-	-
<i>Pipra fasciicauda</i>	8	5,6	6,9	7,9	2,3	0,73	-25,0	-24,4	-23,3	1,7	0,51
<i>Tangara cayana</i>	4	7,4	8,2	8,7	1,3	0,53	-24,2	-22,8	-20,8	3,4	1,39
<i>Thamnophilus pelzelni</i>	3	7,8	8,4	9,4	1,6	0,71	-25,7	-23,5	-21,9	-3,8	1,96
<i>Turdus leucomelas</i>	2	7,9	8,4	9,0	1,1	0,55	-22,6	-22,3	-22,0	-0,6	0,39

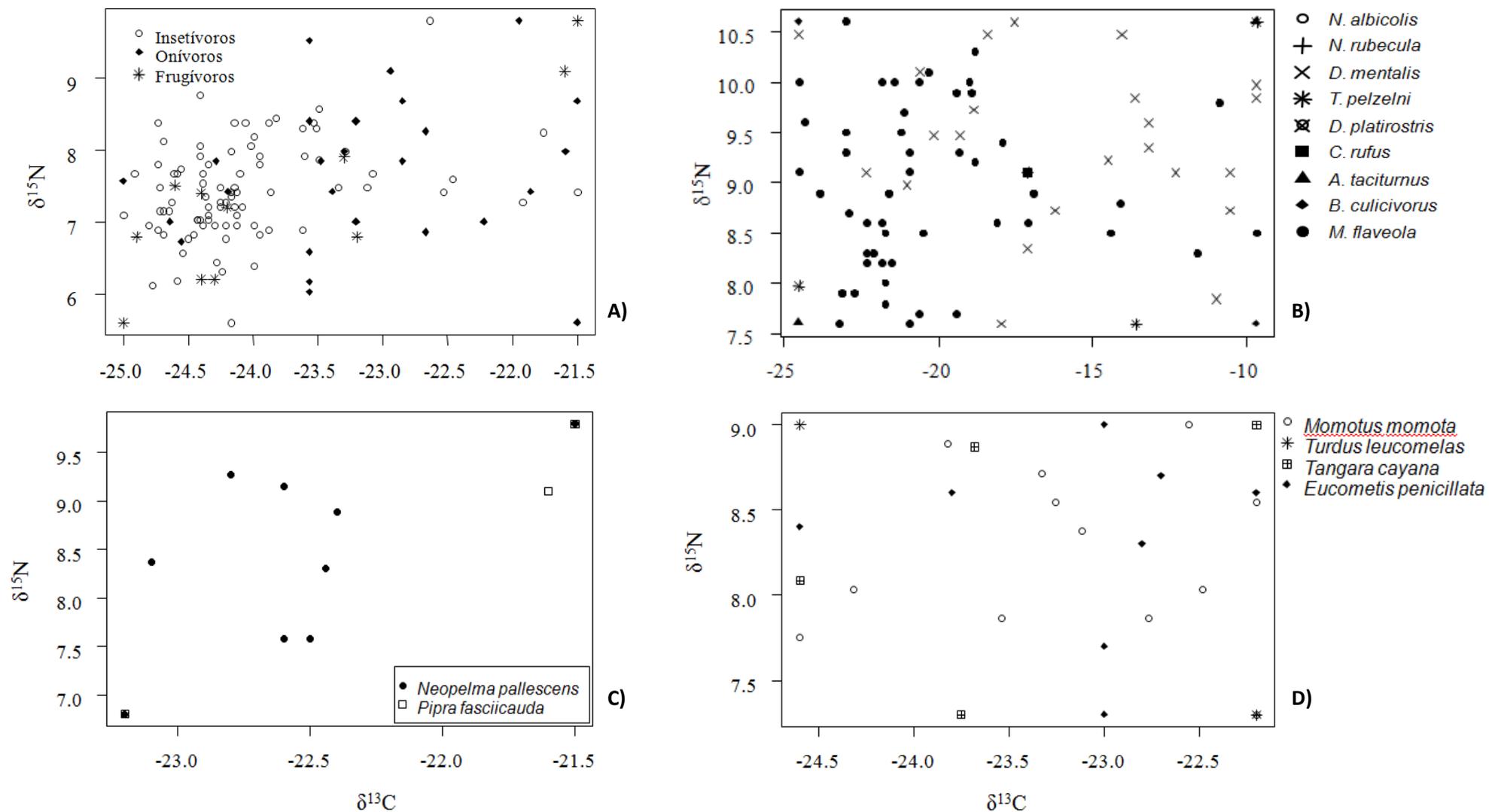
**Tabela 6.** Valores calculados de AICc para os modelos lineares generalizados considerando  $\Delta\text{AICc} < 2.0$ , usando valores isotópicos de  $\delta^{15}\text{N}$ , obtidos de penas de aves amostradas em fragmentos florestais do Cerrado, métricas do fragmento e da paisagem. Dist – distância média da classe vizinha mais próxima ao nível de paisagem, c\_dossel – cobertura de dossel, n\_frag – número de fragmentos, DAP – diâmetro à altura do peito, NDVI – índice normalizado de diferença da vegetação.

Modelo	K	LL	AICc	$\Delta\text{AICc}$	wAICc
$\delta^{15}\text{N}$ vs métricas ambientais					
c_dossel + dist + n_frag	5	-14.56	44.11	0.00	0.29
área + c_dossel + dist + n_frag	6	-13.26	46.16	2.05	0.11

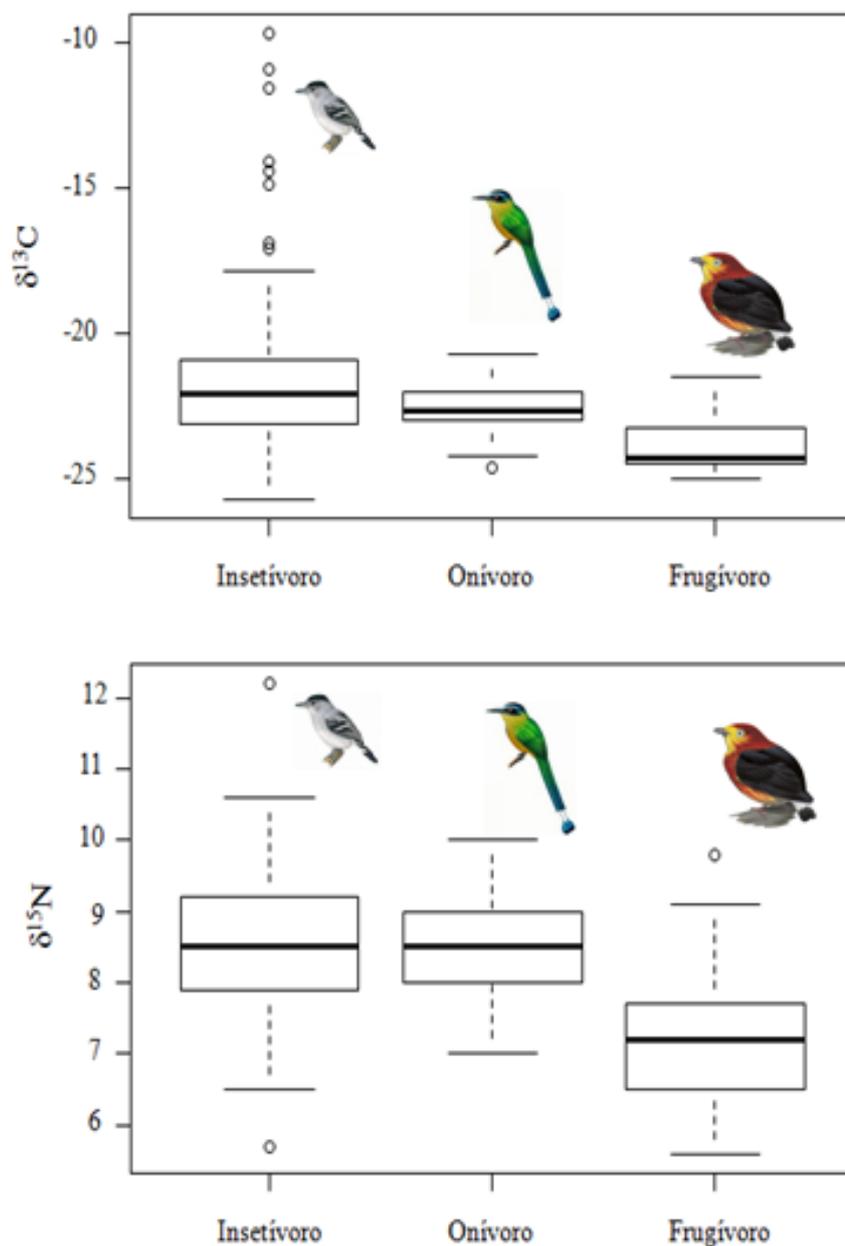
dist + n_frag	4	-17.64	46.37	2.25	0.10
modelo nulo	2	-21.19	47.17	3.06	0.06
Dist	3	-19.85	47.40	3.29	0.06
c_dossel + DAP + dist + n_frag	6	-14.39	48.42	4.31	0.03
c_dossel	3	-20.44	48.60	4.48	0.03
c_dossel + dist + n_frag + NDVI	6	-14.55	48.73	4.61	0.03
c_dossel + dist	4	-18.92	48.93	4.81	0.03
área + dist + n_frag	5	-17.03	49.06	4.95	0.02
área + dist	4	-19.19	49.45	5.34	0.02
Área	3	-20.96	49.64	5.52	0.02
dist + n_frag + NDVI	5	-17.41	49.82	5.70	0.02
n_frag	3	-21.07	49.85	5.74	0.02
DAP	3	-21.13	49.98	5.86	0.02
NDVI	3	-21.19	50.09	5.97	0.01
DAP + dist + n_frag	5	-17.56	50.12	6.01	0.01
DAP + dist	4	-19.71	50.50	6.38	0.01
dist + NDVI	4	-19.77	50.61	6.49	0.01
área + c_dossel + dist	5	-17.96	50.91	6.80	0.01
área + c_dossel + DAP + dist + n_frag + NDVI	7	-12.87	50.93	6.82	0.01
área + c_dossel	4	-20.09	51.25	7.14	0.01
c_dossel + n_frag	4	-20.11	51.29	7.18	0.01
área + c_dossel + dist + n_frag	7	-13.14	51.47	7.36	0.01
c_dossel + DAP	4	-20.36	51.79	7.68	0.01
c_dossel + NDVI	4	-20.39	51.86	7.75	0.01
c_dossel + DAP + dist	5	-18.73	52.46	8.31	0.00
c_dossel + dist + n_frag + NDVI	6	-16.55	52.74	8.63	0.00
área + DAP	4	-20.87	52.83	8.71	0.00
c_dossel + dist + NDVI	5	-18.92	52.85	8.73	0.00
área + DAP + dist	5	-18.93	52.86	8.75	0.00
área + n_frag	4	-20.89	52.87	8.75	0.00
área + dist + NDVI	5	-18.95	52.90	8.78	0.00
área + NDVI	4	-20.95	52.98	8.87	0.00
DAP + n_frag	4	-21.03	53.14	9.02	0.00
n_frag + NDVI	4	-21.07	53.21	9.10	0.00
DAP + NDVI	4	-21.12	53.32	9.21	0.00

área + DAP + dist + n_frag	6	-16.85	53.34	9.23	0.00
c_dossel + DAP + dist + n_frag + NDVI	7	-14.39	53.97	9.86	0.00

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  para as espécies amostradas em fragmentos florestais do Cerrado indicam que a matriz, composta por plantas C4, predominantemente cana de açúcar e pastagem, tem influência na dieta das aves (Figura 4). Aves insetívoras estavam menos empobrecidas, apresentando valores médios mais altos de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-21,4 \pm 3,10$ ), indicando que estão incorporando mais intensamente carbono de origem C4 em seus tecidos (Figura 5). Frugívoros estavam mais empobrecidos, com menores valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-23,8 \pm 1,22$ ) indicando sua dependência do carbono produzido por plantas C3 dos ambientes florestais (Figura 5), enquanto onívoros apresentaram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  relativamente amplos ( $-22,5 \pm 1,07$ ), ocupando posição intermediária entre insetívoros e frugívoros (Figura 5). A hipótese que há diferença da composição de  $\delta^{13}\text{C}$  entre as guildas tróficas foi corroborada ( $X^2 = 11.557$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,003$ ). A comparação entre pares revelou que a diferença está entre frugívoros e insetívoros ( $P = 0,005$ ) e entre frugívoros e onívoros ( $P < 0,01$ ).



**Figura 4.** Comparação de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  obtidos de penas amostradas de aves em 18 fragmentos florestais de uma paisagem antropizada do Cerrado, por tipo de dieta (A), por espécie de insetívoro (B), frugívoro (C) e onívoro (D). Cada ponto representa uma amostra da espécie.



**Figura 5.** Comparação de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  entre guildas alimentares de aves de remanescentes florestais do Cerrado, estado de Goiás, Brasil. Fonte: *Thamnophilus pelzlni* e *Momotus momota* (Pinterest), *Pipra fasciicauda* (<https://birdsoftheworld.org/>).

Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  também diferiram significativamente entre as guildas alimentares ( $F_{2,119} = 7.45$ ,  $P = 0,0008$ ). As diferenças foram entre frugívoros e insetívoros ( $P = 0,0005$ ) e entre frugívoros e onívoros ( $P = 0,004$ ). Insetívoros e onívoros apresentaram as maiores médias de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $8,5 \pm 1,02$ ;  $8,5 \pm 0,74$ ), e frugívoros com menor

média de  $\delta^{15}\text{N}$  ( $7,3 \pm 1,24$ ), indicando que insetívoros e onívoros fazem o uso de fontes alimentares mistas, mais enriquecidos de nitrogênio, com origem na matriz C4 e mais empobrecidas, fonte C3. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  não diferiram entre as classes de fragmentos ( $X^2 = 2.6668$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0.2636$ ;  $F_{2,119} = 0,458$ ,  $P = 0,633$ ).

## **Discussão**

Ao analisar os resultados referente à composição isotópica de carbono da comunidade de aves verifica-se que isótopos de carbono de origem C4 está amplamente disseminado nos tecidos das aves que ocorrem em remanescente florestais de paisagens altamente fragmentadas do Cerrado no Brasil Central. No entanto, espécies que ocorrem em paisagens com maior cobertura de vegetação nativa, utilizam menos recursos provenientes da matriz C4 e são mais dependentes dos remanescentes florestais compostos principalmente por plantas C3. Com isso, apresentam valores mais empobrecidos de  $\delta^{13}\text{C}$ , justificando a importância da cobertura nativa da paisagem para a manutenção das comunidades de aves, especialmente as frugívoras.

Aves especialistas são mais afetadas pela perda de hábitat com redução da cobertura vegetal da paisagem (Carrara *et al.*, 2015; Echeverri *et al.*, 2019) principalmente aves de sub-bosque que precisam de habitat mais florestados (Zuluaga e Rodewald, 2015). Apesar de espécies florestais conseguirem se deslocar na matriz por até 650 metros (Marini, 2010), matrizes diferentes dos habitats de floresta nativa impõem restrições às aves (Biz; Cornelius e Metzger, 2017). Do mesmo modo o grau de conectividade da paisagem pode facilitar ou impor restrições ao movimento entre os fragmentos (Taylor *et al.*, 1993).

Embora os resultados mostrarem que a composição isotópica de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) da comunidade de aves não está associado a métricas do fragmento e da paisagem as aves que ocorrem em fragmentos maiores ou em paisagens com maior cobertura de vegetação nativa apresentaram mais empobrecidos de  $\delta^{13}\text{C}$ , ou seja, utilizam fontes C3 e C4. Assim, é necessário avaliar com cautela os dados para isótopos de carbono, uma vez que podem ter respostas intraespecíficas à fragmentação (Lynch e Saunders, 1991; Kennedy *et al.*, 2011; Martensen *et al.*, 2012; Frishkoff e Karp, 2019), persistindo em paisagens altamente fragmentadas, utilizando diferentes tipos de habitat modificados ou são restritas aos fragmentos florestais (Hansbauer *et al.*, 2009). Considerando as espécies de aves individualmente, a quantidade total de hábitat na paisagem é mais importante do que fragmentação de hábitat (Camargo *et al.*, 2018). Mas área do fragmento e características da paisagem, como alta porcentagem de cobertura de vegetação nativa e presença de árvores explicam a presença de aves em paisagens altamente fragmentadas (Lees e Peres, 2010; Boscolo e Metzger, 2011; Hadley *et al.*, 2017; Michalski e Peres, 2017; Echeverri *et al.*, 2019).

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mostraram que mesmo espécies especialistas, como insetívoros de sub-bosque (e.g. *Myiothlypis flaveola*), sofrem influência da matriz. Apesar de não utilizar a matriz, as aves presentes em fragmentos florestais do cerrado devem se alimentar na borda ou no interior dos remanescentes, dos insetos que exploram pastagens ou cana-de-açúcar, ampliando o impacto das mudanças antrópicas na paisagem sobre a dieta e uso do hábitat pelas espécies. Outra explicação para esse resultado encontrado é a ocorrência de plantas C4 nativas no interior dos fragmentos ou plantas exóticas invasoras em função de clareiras provocado por queimadas, desmatamento parcial ou acesso de bovinos.

Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  associado negativamente às distâncias entre o fragmento vizinho mais próximo reforça as respostas das aves em relação ao uso da matriz agropecuária e sua influência na dieta das aves. Aves de fragmentos mais isolados apresentaram menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , indicando menor uso dos recursos ou nutrientes da matriz.

Os resultados de  $\delta^{15}\text{N}$  mostra que aves que vivem em paisagens onde os fragmentos vizinhos estão mais próximos sofrem maior influência da matriz na dieta, o que pode ser explicado porque utilizam a matriz para acessar fragmentos próximos. Aves de paisagens fragmentadas são mais resistentes e bem sucedidas ao cruzar a matriz em relação às aves de floresta contínua (Cornelius *et al.*, 2017). A distância entre os fragmentos apresenta forte influência na orientação e destino das aves dependentes de floresta (Ibarra-Macias; Robinson e Gaines, 2011). É importante ressaltar que os efeitos do isolamento depende da espécie de ave e do tipo da matriz (Kennedy *et al.*, 2011; Kennedy; Zipkin e Marra, 2017).

O uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura ou nas pastagens eleva os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Rubenstein e Hobson, 2004). Estas fontes enriquecem de  $\delta^{15}\text{N}$  os tecidos dos consumidores a cada nível trófico (Kelly, 2000) e nas plantas se assemelha à de sua fonte por não fracioná-lo durante a absorção (Pereira, 2007). Aves especialistas de floresta e aves de sub-bosque são mais afetadas pelo isolamento do que as que vivem no dossel (Carrara *et al.*, 2015; Bradfer-Lawrence; Garner e Dent, 2018), pois requerem habitats mais florestados (Zuluaga e Rodwald, 2015).

A maior cobertura de dossel esteve associada positivamente com valores de  $\delta^{15}\text{N}$ , ou seja, mesmo em condições que representam qualidade do habitat, como alta cobertura de dossel, a dieta das aves é influenciada pelo entorno do fragmento, reportando à teoria da quantidade de habitat (Farihg, 2013). Fatores como presença de árvores remanescentes

na matriz, proximidade com a floresta e idade da floresta está relacionado com diversidade de aves, acesso à matriz e fidelidade ao hábitat (Sheldon e Nadkarni, 2013; Lata *et al.*, 2018; Powell *et al.*, 2015a; Powell *et al.*, 2015b; Santamaria-Rivero *et al.*, 2016; Walter *et al.*, 2017; Bennett *et al.*, 2018; De-Carvalho *et al.*, 2021), então mesmo espécies que são dependentes de florestas podem estar utilizando árvores isoladas na matriz e acessando isótopos de fonte C4.

Insetívoros apresentaram composição isotópica menos empobrecida de  $\delta^{13}\text{C}$  com influência mista de fontes C3 e C4 na dieta. Se insetívoros não conseguem dispersar por hábitats não florestais (Sekercioglu, 2002) ou possuem capacidade limitada de dispersão (Sam *et al.*, 2014), acabam alimentam-se de insetos que utilizam recursos C4 da matriz. Os insetívoros respondem diferentemente à fragmentação (Kennedy *et al.*, 2011) dependendo da sensibilidade. Espécies sensíveis não ocorrem em fragmentos pequenos e na matriz, enquanto aquelas com sensibilidade moderada podem utilizar hábitats da matriz e espécies que são afetadas positivamente também estão nos fragmentos e na matriz (Antongiovanni e Metzger, 2005). Mesmo espécies que conseguem dispersar na matriz podem não encontrar hábitats adequados (Stratford e Stouffer, 2015), mas as espécies dependentes da floresta podem ser induzidas a utilizar a matriz pela diminuição de recursos (Kennedy *et al.*, 2017).

A composição isotópica mais empobrecida de  $\delta^{13}\text{C}$  era esperada para frugívoros, uma vez que este grupo é mais afetado negativamente pela fragmentação (Moran *et al.*, 2004; Arriaga-Weiss *et al.*, 2007; Kirika *et al.*, 2008; Moran; Catterall e Kanowski, 2009; Kennedy *et al.*, 2010; Sam *et al.*, 2014), principalmente frugívoros de médio e grande porte (Farwig; Schabo e Albrecht, 2017; Parejo-Farnés *et al.*, 2020). Assim, frugívoros ficam mais restritos ao hábitat nativo evitando hábitats da matriz (Şekercioglu *et al.*, 2015) e, desta forma, a ingestão de frutos da matriz C4 é menor. Isso acontece mesmo

considerando que alguns frugívoros tipicamente florestais (*e. g. Pipra fasciicauda*) sejam capazes de se mover entre áreas abertas (Piratelli e Blake, 2006) para fragmentos próximos (Neuschulz *et al.*, 2012).

Aves onívoras apresentaram composição isotópica média intermediária entre frugívoros e insetívoros porque utilizam recursos do ambiente nativo e da matriz. Esta guilda trófica possui espécies que são menos sensíveis à fragmentação florestal (Ribon *et al.*, 2003; Kennedy *et al.*, 2010; Sigel *et al.*, 2010; Sam *et al.*, 2014).

Considerando a composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  por guiltras tróficas, aves insetívoras apresentaram maiores médias do que frugívoros e onívoros. Isso ocorre porque, em tecidos animais, ocorre enriquecimento com a passagem de um nível trófico para outro. Diferenças para uma mesma espécie pode ser explicada pelas diferentes características do fragmento com uso indireto da matriz ou não. As espécies podem utilizar a borda dos fragmentos e consumir insetos que se alimentam na matriz enriquecida de nitrogênio proveniente de adubação ou se deslocam pela matriz para outros fragmentos próximos. Por exemplo, *Dysithamus mentalis*, um insetívoro de sub-bosque, teve a maior composição isotópica de  $\delta^{15}\text{N}$  em fragmentos pequenos (< 100 hectares), isolados e baixo NDVI ou em fragmentos grandes (> 150 hectares) e com DAP alto (21,7 cm). Então, para insetívoros de sub-bosque, o isolamento, a baixa qualidade da vegetação e a simplificação do sub-bosque são métricas que podem determinar a influência da matriz antrópica, rica em nitrogênio, na dieta.

O uso de isótopos estáveis em ecologia de paisagens possibilita compreender respostas das aves à fragmentação e à perda de hábitat em paisagens causadas pelas mudanças no uso da terra provocadas por humanos. A composição isotópica de carbono e do nitrogênio revelam diferentes respostas das guildas tróficas à fragmentação florestal do Cerrado. Valores isotópicos de carbono e nitrogênio estiveram associados com

métricas locais (tamanho do fragmento e cobertura de dossel) e métricas da paisagem (cobertura da paisagem e distância para o vizinho mais próximo), revelando a influência da matriz agrícola C4 na dieta das aves, inclusive de espécies especialistas. Apesar da maioria das guildas tróficas de aves mostrarem preferências por recursos florestais, em paisagens fragmentadas os indivíduos consomem mais recursos provenientes de áreas agropecuárias (plantas C4) (Navarro *et al.*, 2021).

### Referências Bibliográficas

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, 711–728, 2013.

Anjos, L. Bird communities in five Atlantic forest fragments in southern Brazil. *Ornitologia Neotropical*, v. 12, p. 11-27, 2001.

Antongiovanni, M.; Metzger, J. P. Influence of matrix habitats on the occurrence of insectivorous bird species in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation*, v. 122, n. 3, p. 441-451, 2005.

Arriaga-Weiss, S. L.; Calmé, S.; Kampichler, C. Bird communities in rainforest fragments: guild responses to habitat variables in Tabasco, Mexico. *Biodiversity and Conservation*, v. 17, n. 1, 173–190, 2007.

Banks-Leite, C.; Ewers, R. M.; Metzger, J. P. Edge effects as the principal cause of area effects on birds in fragmented secondary forest. *Oikos*, v. 119, p. 918-926, 2010.

Batáry, P.; Báldi, A. Evidence of an edge effect on avian nest success. *Conservation Biology*, v. 18, n. 2, p. 389-400, 2004.

Bearhop, S.; Furness, R. W.; Hilton, G. M.; Votier, S. C.; Waldron, S. A forensic approach to understanding diet and habitat use from stable isotope analysis of (avian) claw material. *Functional Ecology*, v. 17, p. 170-175, 2003.

Bender, D. J.; Conteras, T. A.; Fahrig, L. Habitat loss and population decline: a meta-analysis of the patch size effect. *Ecology*, v. 79, n. 2, p. 517-533, 1998.

Borges, V. M. S. *Formação de uma nova centralidade do setor sucroenergético no cerrado: o caso de Quirinópolis, Estado de Goiás*. 2011. 237 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

- Boscolo, D.; Metzger, J. P. Isolation determines patterns of species presence in highly fragmented landscapes. *Ecography*, v. 34, n. 6, p. 1018 – 1029, 2011.
- Bradfer-Lawrence, T.; Gardner, N.; Dent, D. H. Canopy bird assemblages are less influenced by habitat age and isolation than understory bird assemblages in Neotropical secondary forest. *Ecology and Evolution*, v. 8, p. 5586–5597, 2018.
- Braga, E. M.; Belo, N. O.; Pinheiro, R. T. Técnicas para estudo de hemoparasitos em aves. In: Von Matter, S.; Straube, F.; Accordi, I.; Piacentini, V.; Cândido Jr, J. F. *Ornitologia e Conservação: Ciência Aplicada, Técnicas de Pesquisa e Levantamento*. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, p. 395-411, 2010.
- Brooks, T. M.; Mittermeier, R. A.; Mittermeier, C. G.; Da Fonseca, G. A. B.; Rylands, A. B.; Konstant, W. R. et al. Habitat loss and extinction in the hotspots of biodiversity. *Conservation Biology*, 16, p. 909–923, 2002.
- Camargo, R. X. de; Boucher-Lalonde, V.; Currie, D. J. At the landscape level, birds response strongly to habitat amount but weakly to fragmentation. *Diversity and Distributions*, v. 24, p. 629-639, 2018.
- Carrara, E.; Arroyo-Rodríguez, V.; Vega-Rivera, J. H.; Schondube, J. E.; Freitas, S. M. de; Fahrig, L. Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico. *Biological Conservation*, v. 184, p. 117–126, 2015.
- Cherel, Y.; Phillips, R. A.; Hobson, K. A.; McGill, R. Stable isotope evidence of diverse species-specific and individual wintering strategies in seabirds. *Biology Letters*, v. 2, p. 301–303, 2006.
- Cherel, Y.; Jaquemet, S.; Maglio, A.; Jaeger, A. Differences in  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values between feathers and blood of seabird chicks: implications for non-invasive isotopic investigations. *Marine Biology*, 2005. doi: 10.1007/s00227-013-2314-5
- Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos, 2014. Listas das aves do Brasil, 11ª Edição. Disponível em: [www.cbro.org.br/CBRO/index.htm](http://www.cbro.org.br/CBRO/index.htm). Acesso em 18 de nov. 2014.
- Cornelius, C.; Awade, M.; Cândia-Gallardo, C.; Sieving, K. E.; Metzger, J. P. Habitat fragmentation drives inter-population variation in dispersal behavior in a Neotropical rainforest bird. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, p. 3-9, 2017.
- De-Carvalho, M.; Prevedello, J. A.; Pardini, R.; Lindenmayer, D.; Almeida-Gomes, M. Isolated trees support lower bird taxonomic richness than trees within habitat patches but similar functional diversity. *Biotropica*, 53(1), 213-220, 2021.
- Durães, R.; Marini, M. Â. A quantitative assessment of birds diets in the Brazilian Atlantic Forest, with recommendations for future diet studies. *Ornitologia Neotropical*, v. 16, p. 65-83, 2005.

Echeverri, A.; Frishkoff, L. O.; Gomez, J. P.; Zook, J. R.; Juárez, P.; Naidoo, R.; Chan, K. M. A.; Karp, D. S. Precipitation and tree cover gradients structure avian alpha diversity in North-western Costa Rica. *Diversity and Distributions*, v. 25, p. 1222–1233, 2019. <https://doi.org/10.1111/ddi.12932>

ESRI. *ArcGIS 10.3.1 — Geographical information system*. 2015. Environment System Research Institute Inc., Redlands, California

Fahrig, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 34, p. 487–515, 2003.

Farwig, N.; Schabo, D. G.; Albrecht, J. Trait-associated loss of frugivores in fragmented forest does not affect seed removal rates. *Journal of Ecology*, v. 105, p. 20-208, 2017.

Foley, J. A.; DeFries, R.; Asner, G. P. et al. Global Consequences of Land Use. *Science*, v. 309, p. 570-574, 2005.

Fraser, K. C.; Kyser, T. K.; Ratcliffe, L. M. Detecting Altitudinal Migration Events in Neotropical Birds Using Stable Isotopes. *Biotropica*, v. 40, n. 3, p. 269–272 2008.

Freitas, S. R.; Cerqueira, R.; Vieira, M. V. A device and standard variables to describe microhabitat structure of small mammals based on plant cover. *Braz. J. Biol.*, v. 62, n. 4B, p. 795-800, 2002.

Frishkoff, L. O.; Karp, D. S. Species-specific responses to habitat conversion across scales synergistically restructure Neotropical bird communities. *Ecological Applications*, v. 29, n. 5, 2019, e01910.

Galetti, M.; Guevara, R.; Côrtes, M. C. et al. Functional extinction of birds drives rapid evolutionary changes in seed size. *Science*, v. 340, p. 1086-1090, 2013.

Guaraldo, A. C. *Ecologia comparada de Tiranídeos (Aves) residentes e migratórios*. Tese, Universidade de Brasília, 2014.

Hadley, A. S.; Frey, S. J. K.; Robinson, W. D.; Betts, M. G. Forest fragmentation and loss reduce richness, availability, and specialization in tropical hummingbird communities. *Biotropica*, v. 50, n. 1, p. 74-83, 2017. Doi: 10.1111/btp.12487.

Hansbauer, M. M.; Storch, I.; Knauer, F.; Pilz, S.; Küchenhoff, H.; Végvári, Z.; Pimentel, R. G.; Metzger, J. P. Landscape perception by forest understory birds in the Atlantic Rainforest: black-and-white versus shades of grey. *Landscape Ecology*, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226772771>. Acessado em 15 Dez. 2020.

Hinke, J. T.; Polito, M. J.; Goebel, M. E.; Jarvis, S.; Reiss, C. S.; Thorrold, S. R.; Trivelpiece, W. Z.; Watters, G. M. Spatial and isotopic niche partitioning during winter in chinstrap and Adélie penguins from the South Shetland Islands. *Ecosphere*, v. 6, n. 7, p. 125, 2015. <http://dx.doi.org/10.1890/ES14-00287.1>

Hobson, K. A.; Bairlein, F. Isotopic fractionation and turnover in captive Garden Warblers (*Sylvia borin*): implications for delineating dietary and migratory associations in wild passerines. *Can. J. Zool.* v. 81, p. 1630–1635, 2003.

Hobson, K. A.; Wunder, M. B.; Van Wilgenburg, S. L.; Clark, R. G.; Wassenaar, L. I. A Method for Investigating Population Declines of Migratory Birds Using Stable Isotopes: Origins of Harvested Lesser Scaup in North America (Animal Isotopic Origins). *PLoS ONE*, v. 4, n. 11, p. e7915, 2009. doi:10.1371/journal.pone.0007915.

Ibanez, T.; Hequet, V.; Chambrey, C.; Jaffré, T.; Birnbaum, P. How does forest fragmentation affect tree communities? A critical case study in the biodiversity hotspot of New Caledonia. *Landscape Ecol.*, v. 32, n. 8, p. 1671–1687, 2017.

Ibarra-Macias, A.; Robinson, W. D.; Gaines, M. S. Experimental evaluation of bird movements in a fragmented Neotropical landscape. *Biological Conservation*, v. 144 p. 703–712, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Estimativas de população para 2016*. 2017. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa\\_dou.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm). Acesso em: 10 jul. 2017.

Kelly, J. F. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology*, v. 78, n. 1, p. 1–27, 2000. Doi:10.1139/z99-165

Kennedy, C. M.; Marra, P. P.; Fagan, W. F.; Neel, M. C. Landscape matrix and species traits mediate responses of Neotropical resident birds to forest fragmentation in Jamaica. *Ecological Monographs*, v. 80, n. 4, p. 651–669, 2010.

Kennedy, C. M.; Grant, E. H. C.; Neel, M.; Fagan, W. F.; Marra, P. Landscape matrix mediates occupancy dynamics of Neotropical avian insectivores. *Ecological Applications*, v. 21, n. 5, p. 1837-1850, 2011.

Kennedy, C. M.; Zipkin, E. F.; Marra, P. P. Differential matrix use by Neotropical birds based on species traits and landscape condition. *Ecological Applications*, v. 27, n. 2, p. 619-631, 2017. Doi: 10.1002 / eap.1470.

Keyser, A.; Hill, G. E.; Soehren, E. C. Effects of forest fragment size, nest density, and proximity to edge on the risk of predation to ground-nesting passerine birds. *Conserv. Biol.*, v. 12, n. 5, p. 986–994, 1998.

Kirika, J. M.; Bleher, B.; Böhning-Gaese, K.; Chira, R.; Farwig, N. Fragmentation and local disturbance of forests reduce frugivore diversity and fruit removal in *Ficus thonningii* trees. *Basic and Applied Ecology*, v. 9, n. 6, p. 663–672, 2008. doi:10.1016/j.baae.2007.07.002

Kurosawa, R.; Askins, R. A. Effects of habitat fragmentation on birds in deciduous forests in Japan. *Conservation Biology*, v. 17, n. 3, p. 695–707, 2003.

- Lamb A., Finch, T., Pearce-Higgins, J. W., et al. The consequences of land sparing for birds in the United Kingdom. *J Appl Ecol.* 2019;56:1870–1881. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13362>
- Layman, C. A.; Araujo, M. S.; Boucek, R.; et al. Applying stable isotopes to examine food-web structure: an overview of analytical tools. *Biol. Rev.* 2011. doi: 10.1111/j.1469-185X.2011.00208.x.
- Lees, A. C.; Peres, C. A. Habitat and life history determinants of antbird occurrence in variable-sized Amazonian forest fragments. *Biotropica*, v. 42, n. 5, p. 614–621, 2010.
- Lynch, J. F.; Saunders, D. Responses of bird species to habitat fragmentation in the wheatbelt of Western Australia: interiors, edges and corridors. In: Saunders, D. A.; Hobbs, R. J. *Nature Conservation 2: the Role of Corridors*. Surrey Beatty & Sons, 1991. p. 143–158.
- Maldonado, K.; Bozinovic, F.; Newsome, S. D.; Sabat, P. Testing the niche variation hypothesis in a community of passerine birds. *Ecology*, v. 98, n. 4, p. 903–908, 2017.
- Manetta, G. I.; Benedito-Cecilio, E. Aplicação da técnica de isótopos estáveis na estimativa da taxa de turnover em estudos ecológicos: uma síntese. *Acta Scientiarum: Biological Sciences*, v. 25, p. 121–129, 2003.
- Marini, M. Â. Foraging behavior and diet of the helmeted manakin. *Condor*, v. 94, p. 151–158, 1992.
- Marini, M. Â.; Cavalcanti, R. B. Habit and foraging substrate use of three *Basileuterus* Warblers from central Brazil. *Ornitologia Neotropical*, v. 4, p. 69–76, 1993.
- Martensen, A. C.; Ribeiro, M. C.; Banks-Leite, C.; Prado, P. I.; Metzger, J. P. Associations of Forest Cover, Fragment Area, and Connectivity with Neotropical Understory Bird Species Richness and Abundance. *Conservation Biology*, v. 26, n. 6, p. 1100–1111, 2012.
- Martínez del Rio, C.; Wolf, N.; Carleton, S. A.; Gannes, L. Z. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments. *Biological Reviews*, v. 84, p. 91–111, 2009.
- Martínez del Rio, C.; Sabat, P.; Anderson-Sprecher, A.; Gonzalez, S. P. Dietary and isotopic specialization: the isotopic niche of three *Cinclodes* ovenbirds. *Oecologia*, v. 161, p. 149–159, 2009.
- Michalski, F.; Peres, C. A. Gamebird responses to anthropogenic forest fragmentation and degradation in a southern Amazonian landscape. *PeerJ* 5:e3442. Doi: 10.7717/peerj.3442
- Moran, C.; Catterall, C. P.; Green, R. J. M. F. Olsen. Functional variation among frugivorous birds: implications for rainforest seed dispersal in a fragmented subtropical landscape. *Oecologia*, v. 141, p. 584–595, 2004.

Moran, C.; Catterall, C. P.; Kanowski, J. Reduced dispersal of native plant species as a consequence of the reduced abundance of frugivore species in fragmented rainforest. *Biological Conservation*, v. 142, n. 3, p. 541–552, 2009.

Motta-Júnior, J. C. Estrutura trófica e composição das avifaunas de três habitats terrestres na região central do estado de São Paulo. *Ararajuba*, v. 1, p. 65-71, 1990.

Neuschulz, E. L.; Brown, M.; Farwig, N. Frequent bird movements across a highly fragmented landscape: the role of species traits and forest matrix. *Animal Conservation*, v. 16, n. 2, p. 170–179, 2012. doi:10.1111/j.1469-1795.2012.00582.x

Navarro, A. B.; Magioli, M.; Bogoni, J. A. et al. Human -modified landscapes narrow the isotopic niche of neotropical birds. *Oecologia*, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-04908-9>

Newbold, T.; Hudson, L. N.; Hill, S. L. L. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature*, v. 520, p. 45-69, 2015.

Newsome, S. D.; Tinker, M. T.; Monson, D. H. et al. Using stable isotopes to investigate individual diet specialization in California sea otters (*Enhydra lutris nereis*). *Ecology*, v. 90, n. 4, p. 961–974, 2009.

Parejo-Farnés, C.; Aguilar, R.; Herrera, J. M.; Aparicio, A.; Albaladejo, R. G. Effects of habitat fragmentation on frugivorous birds and on seed removal from *Pistacia lentiscus* in two contrasting fruiting seasons. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 125541. doi: 10.1016 / j.ppees.2020.125541.

Pearson, S. F.; Levey, D. J.; Greenberg, C. H.; Martinez del Rio, C. Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbon isotopic signatures in an omnivorous songbird. *Oecologia*, v. 135, p. 516-523, 2003.

Pereira, A. L.; Benedito, E. Isótopos estáveis em estudos ecológicos: métodos, aplicações e perspectivas. *Revista Biociências*, v. 13, n. 1-2, p. 16-27, 2007.

Piacentini, V. Q. et al. 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*, v. 23, n. 2, p. 91–298, 2015.

Piratelli, A.; Pereira, M. R. Dieta de aves na região leste do Mato Grosso do Sul, Brasil. *Ararajuba*, v. 10, n. 2, p. 131-139, 2002.

Piratelli, A.; Blake, J. G. Bird communities of the southeastern cerrado region, Brazil. *Ornitologia Neotropical*, v. 17, p. 213–225, 2006.

Podlesak, D. W.; McWilliams, S. R.; Hatch, K. A. Stable isotopes in breath, blood, feces and feathers can indicate intra-individual changes in the diet of migratory songbirds. *Oecologia*, v. 142, p. 501–510, 2005.

Post, D. M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, v. 83, n. 3, p. 703–718, 2002.

Primack, R. R.; Rodrigues, E. *Biologia da conservação*. Londrina: E. Rodrigues, 2001. 328 p.

QGIS Development Team. *QGIS Geographical Information System. Open Source Geospatial Foundation Project*. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org/>. Acesso em 30 de out. de 2020.

Quillfeldt, P.; Bugoni, L.; McGill, L. A. R.; Masello, J. F.; Furness, R. W. Differences in stable isotopes in blood and feathers of seabirds are consistent across species, age and latitude: implications for food web studies. *Marine Biology*, v. 155, p. 593–598, 2008.

R Core Team. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em 20 de ago. de 2019.

Reichlin, T. S.; Hobson, K. A.; Van Wilgenburg, S. L. V. et al. Conservation through connectivity: can isotopic gradients in Africa reveal winter quarters of a migratory bird? *Oecologia*, v. 171, p. 171-591, 2013.

Ribon, R.; Simon, J. E.; De Mattos, G. T. Bird extinctions in atlantic forest fragments of Viçosa region, southeastern Brazil. *Conservation Biology*, v. 17, p. 1827-1839, 2003

Rossetti, M. R.; Tschardtke, T.; Aguilar, R.; Batáry, P. Responses of insect herbivores and herbivory to habitat fragmentation: a hierarchical meta-analysis. *Ecology Letters*, v. 20, p. 264–272, 2017.

Rubenstein, D. R.; Hobson, K. A. From birds to butterflies: animal movement patterns and stable isotopes. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 19, n. 5, p. 256–263, 2004. Doi:10.1016/j.tree.2004.03.017

Sam, K.; Koane, B.; Jeppy, S.; Novotny, V. Effect of forest fragmentation on bird species richness in Papua New Guinea. *Journal of Field Ornithology*, v. 85, n. 2, p. 152–167, 2014.

Şekercioğlu, C. H. Forest fragmentation hits insectivorous birds hard. *Directions in Science*, v. 1, p. 62-64, 2002.

Şekercioğlu, Ç.H.; Loarie, S.R.; Oviedo-Brenes, F.; Mendenhall, C.D.; Daily, G.C.; Ehrlich, P.R. Tropical countryside riparian corridors provide critical habitat and connectivity for seed-dispersing forest birds in a fragmented landscape. *Journal of Ornithology*, v. 156, p. 343–353, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10336-015-1299-x>

Sick, H. *Ornitologia Brasileira. Uma introdução*. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira, 1997, 862p.

Sigel, B. J.; Douglas Robinson, W.; Sherry, T. W. Comparing bird community responses to forest fragmentation in two lowland Central American reserves. *Biological Conservation*, v. 143, n. 2, 340–350, 2010. doi:10.1016/j.biocon.2009.10.020

Turner, I. M. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. *Journal of Applied Ecology*, v. 33, n. 2, p. 200–209, 1996.

Van Dijk, J. G. G.; Meissner, W.; Klaassen, M. Improving provenance studies in migratory birds when using feather hydrogen stable isotopes. *Journal of Avian Biology*, v. 45, p. 103–108, 2014.

Wassenaar, L. I.; Hobson, K. A. Stable-hydrogen isotope heterogeneity in keratinous materials: mass spectrometry and migratory wildlife tissue subsampling strategies. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, v. 20, p. 2505–2510, 2006.

Wunder, M. B.; Jehl Jr, J. R.; Stricker, C. A. The early bird gets the shrimp: confronting assumptions of isotopic equilibrium and homogeneity in a wild bird population. *Journal of Animal Ecology*, v. 81, p. 1223–1232, 2012.

Young, B. E.; Sherry, T. W.; Sigel, B. J.; Woltmann, S. Nesting success of Costa Rican lowland rain forest birds in response to edge and isolation effects. *Biotropica*, v. 40, n. 5, p. 615–622, 2008.

Z\_GIS – Department of Geoinformatics. *V-LATE - Vector-based Landscape Analysis Tools Extension*. University of Salzburg, Austria. 2015. Disponível a partir de <https://sites.google.com/site/largvlate/gis-tools/v-late> (acessado em dezembro de 2015)

Zuluaga, C. G. J.; Rodewald, A. D. Response of mixed-species flocks to habitat alteration and deforestation in the Andes. *Biological Conservation*, v. 188, p. 72-81, 2015. Doi: 10.1016 / j.biocon.2015.02.008

## Material Suplementar

**Tabela S1.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  de 15 espécies de aves amostradas em fragmentos de floresta estacional semidecidual do sul de Goiás, Brasil.

<b>Código do fragmento</b>	<b>Espécie</b>	<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>
F1	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,8	-22,1
F1	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,5	-22,1
F1	<i>Momotus momota</i>	8,3	-21,1
F1	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,2	-18,8
F1	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,6	-17,1
F1	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,6	-18,1
F1	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,5	-14,4
F1	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,5	-9,7
F2	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,6	-24,4
F2	<i>Dysithamus mentalis</i>	9	-23,7
F2	<i>Momotus momota</i>	8,3	-23,7
F2	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,9	-16,9
F2	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,3	-11,6
F2	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,8	-14,1
F2	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10,3	-18,8
F2	<i>Pipra fasciicauda</i>	7,9	-23,3
F2	<i>Pipra fasciicauda</i>	7,4	-24,4
F2	<i>Pipra fasciicauda</i>	6,2	-24,4
F2	<i>Pipra fasciicauda</i>	6,2	-24,3
F3	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,1	-24,3
F3	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,7	-24,5
F3	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,1	-24,1
F3	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,9	-25,3
F3	<i>Momotus momota</i>	8,9	-22
F3	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,3	-20,9
F3	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,3	-22,3
F3	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,3	-19,3
F3	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10	-19
F3	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10,1	-20,3
F3	<i>Pipra fasciicauda</i>	5,6	-25,0
F3	<i>Pipra fasciicauda</i>	6,8	-24,9
F3	<i>Pipra fasciicauda</i>	7,2	-24,2
F3	<i>Pipra fasciicauda</i>	7,5	-24,6
F3	<i>Tangara cayana</i>	8,7	-20,8
F3	<i>Tangara cayana</i>	8	-24,2
F3	<i>Tangara cayana</i>	7,4	-23,0
F3	<i>Tangara cayana</i>	8,6	-22,9
F4	<i>Momotus momota</i>	9,5	-22,3
F4	<i>Nyctidromus albicollis</i>	12,2	-14,9

F5	<i>Casiornis rufus</i>	8,1	-24,4
F5	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,9	-22,9
F5	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,4	-22,8
F5	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,8	-24,8
F5	<i>Eucometis penicillata</i>	8,6	-23,8
F5	<i>Eucometis penicillata</i>	8,7	-22,7
F5	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,7	-19,4
F5	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,9	-18,9
F6	<i>Eucometis penicillata</i>	8,4	-24,6
F6	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,9	-23,8
F6	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,3	-23,0
F7	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,4	-21,9
F7	<i>Eucometis penicillata</i>	9	-23,0
F7	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10,6	-23,0
F7	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10	-21,8
F7	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10	-21,4
F8	<i>Basileuterus culicivorus</i>	7,8	-21,1
F8	<i>Basileuterus culicivorus</i>	6,9	-21,1
F8	<i>Basileuterus culicivorus</i>	7	-22,4
F8	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,8	-22,5
F8	<i>Momotus momota</i>	8	-22,6
F8	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,9	-23,1
F8	<i>Neopelma pallescens</i>	6,8	-23,2
F9	<i>Eucometis penicillata</i>	8,3	-22,8
F9	<i>Eucometis penicillata</i>	8,6	-22,2
F9	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,8	-10,9
F9	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,1	-24,5
F9	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,5	-23,0
F9	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,4	-17,9
F10	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,2	-23,6
F10	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,2	-22,7
F10	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,9	-23,0
F10	<i>Eucometis penicillata</i>	7,7	-23,0
F10	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10	-20,6
F10	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,6	-21,8
F10	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,2	-21,5
F10	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,5	-21,7
F11	<i>Eucometis penicillata</i>	7,3	-23,0
F11	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,9	-22,7
F11	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,2	-21,8
F11	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,9	-23,1
F11	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,6	-22,3
F11	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,1	-20,9
F12	<i>Arremon taciturnus</i>	6,5	-24,7
F12	<i>Arremon taciturnus</i>	7,6	-24,3
F12	<i>Momotus momota</i>	9,2	-22,2

F12	<i>Momotus momota</i>	9,2	-20,7
F12	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,5	-20,5
F12	<i>Myiothlypis-flaveola</i>	8	-21,7
F13	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,5	-21,9
F13	<i>Dysithamus mentalis</i>	8	-22,7
F13	<i>Dysithamus mentalis</i>	7,5	-23,4
F13	<i>Momotus momota</i>	10	-21,2
F13	<i>Momotus momota</i>	9,8	-23,0
F13	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,5	-21,2
F13	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,7	-22,9
F13	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,9	-19,4
F14	<i>Myiothlypis flaveola</i>	10	-24,5
F14	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,6	-24,3
F14	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,3	-22,1
F14	<i>Neopelma pallescens</i>	9,1	-21,6
F14	<i>Neopelma pallescens</i>	9,8	-21,5
F14	<i>Turdus leucomelas</i>	9	-22,6
F14	<i>Turdus leucomelas</i>	7,9	-22,0
F15	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,7	-20,6
F15	<i>Myiothlypis flaveola</i>	9,7	-21,1
F16	<i>Dendrocolaptes platyrostris</i>	9,1	-22,7
F16	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,9	-23,9
F16	<i>Dysithamus mentalis</i>	8,3	-24,0
F16	<i>Nonula rubecula</i>	5,7	-21,9
F16	<i>Thamnophilus pelzelni</i>	8	-25,7
F16	<i>Thamnophilus pelzelni</i>	9,4	-21,9
F16	<i>Thamnophilus pelzelni</i>	7,8	-22,9
F17	<i>Dysithamus mentalis</i>	6,8	-22,2
F17	<i>Dysithamus mentalis</i>	6,6	-23,8
F17	<i>Momotus momota</i>	7,8	-24,1
F17	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,9	-21,6
F18	<i>Momotus momota</i>	7	-20,7
F18	<i>Momotus momota</i>	8	-21,5
F18	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,6	-20,9
F18	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,6	-23,2
F18	<i>Myiothlypis flaveola</i>	8,2	-22,3
F18	<i>Myiothlypis flaveola</i>	7,8	-21,7