
Ecologia

Gio Andrade Oliveira

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA PAISAGEM E
COMUNIDADE BIÓTICA NA OCORRÊNCIA DE
UMA ÁRVORE DISPERSA POR ANIMAIS EM
FLORESTAS SECUNDÁRIAS DA MATA
ATLÂNTICA**



Rio Claro - SP
2024

Gio Andrade Oliveira

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA PAISAGEM E COMUNIDADE
BIÓTICA NA OCORRÊNCIA DE UMA ÁRVORE DISPERSA POR
ANIMAIS EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS DA MATA ATLÂNTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção do grau de Ecóloga.

Orientadora: Marina Corrêa Côrtes

Coorientador: Willian Barbosa Simioni

O48i

Oliveira, Gio Andrade

Influência da estrutura da paisagem e comunidade biótica na ocorrência de uma árvore dispersa por animais em florestas secundárias da Mata Atlântica /

Gio Andrade Oliveira. -- Rio Claro, 2024

47 f. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientadora: Marina Corrêa Côrtes

Coorientador: Willian Barbosa Simioni

1. Ecologia. 2. Restauração Florestal. 3. Frugivoria. I. Título.

Gio Andrade Oliveira

INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DA PAISAGEM E COMUNIDADE BIÓTICA NA OCORRÊNCIA DE UMA ÁRVORE DISPERSA POR ANIMAIS EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS DA MATA ATLÂNTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Ecóloga.

BANCA EXAMINADORA:

Profa. Dra. Marina Corrêa Côrtes

Dra. Ana Cristina Vara Crestani

Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro

Aprovado em: 12 de novembro de 2024

Documento assinado digitalmente
 **GIOVANNA ANDRADE OLIVEIRA**
Data: 06/12/2024 12:59:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do discente

Documento assinado digitalmente
 **MARINA CORREA CORTES**
Data: 06/12/2024 13:09:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura da orientadora

Documento assinado digitalmente
 **WILLIAN BARBOSA SIMIONI**
Data: 04/12/2024 18:39:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do coorientador

AGRADECIMENTOS

Tenho muito a agradecer: pessoas, lugares e momentos, que durante os anos de graduação e da elaboração deste trabalho foram minha rede de apoio. Agradeço primeiramente à Vilma e Paulo, meus pais, sem eles absolutamente nada seria possível, obrigada por tudo. Agradeço às minhas irmãs Laylana e Jayanne e ao sobrinho Emanuel, por serem minha fonte de inspiração e resiliência.

Aos meus amigos de Morro Agudo, especialmente Arthur, Marília, Leo, Lucas e Jolyne, obrigada por todo o apoio, que mesmo longe sempre esteve presente de alguma forma. À República Dungas, que foi meu primeiro e lar nessa cidade, onde tive o prazer de formar amizades que pretendo levar para o resto da vida, obrigada Kinder e Saci por terem sido minhas Eco Mães e obrigada Dengo e Guria por serem minhas Eco Irmãs.

À República Lava, por ser meu lar desde 2020 e que tive o prazer de formar com Cindy, Lídia e Pê (seguido depois de Ari), companheiras de isolamento na pandemia e amigas para a vida! Agradeço também à nova formação: Pira, Laura, Lilo e Low, por todos os papos, rolês e momentos reclamando da correria da semana.

Aos Guerreiros: Ari, Cindy, Lídia, Chico, Cigana, Daqui, Fora, Isa, Laurinha, Mushu, Oito Mil, Paulo, Pira, Pópis, Prekoce e Vini, amigos que viraram minha família em Rio Claro, obrigada por cada risada, cada desabafo e todo o carinho e amor que compartilhamos nos momentos que passamos juntos. À Matheus, por todo o amor e apoio diário, obrigada por partilhar a sua vida ao meu lado.

À minha turma de 019, especialmente Simon, Bambu, Viny, Coral, Cazemiro, Pê, Guria e Dengo e a turma de 020, em especial Gylsa, Peh Bandida, Xena e Baderna, que me adotaram em várias disciplinas. Obrigada a todos pelos momentos de aprendizado na graduação e fora dela.

Ao meu cachorro Sirius, a razão do meu viver, obrigada por ser minha companhia diária, por todos os lambeijos e carinhos, por ser o cachorro mais bobo e carente desse mundo e por me amar incondicionalmente.

Ao pessoal do CAPS II de Rio Claro, principalmente Lucas, Hellen e Isabela, que nesses últimos tempos foram extremamente acolhedores, solícitos e pacientes comigo, muito muito obrigada.

Ao grupo ReSeeD: Ana, Carina, Fabi, Canassa, Hades, Nat, San, Viny, Robert e Jorn, com quem tive a felicidade de compartilhar conhecimentos, acompanhar em campos e laboratórios, apresentar trabalhos e descontraír quando necessário. Um obrigada especial à Jorn por disponibilizar seus dados para a produção deste trabalho.

À Marina, minha orientadora e à Willian, meu coorientador e amigo, obrigada por sempre me apoiarem e me ajudarem tanto no desenvolvimento deste trabalho quanto nos momentos em que precisei desabafar, nada disso seria possível sem vocês.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à equipe NewFor por disponibilizar seu banco de dados e ao **processo nº 2022/10302-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)**, que foi essencial para grande parte do desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigada a todos do fundo do meu coração, amo vocês! É nós por nós sempre!!

RESUMO

Árvores de grande porte com ampla distribuição e capacidade de se estabelecer em ambientes degradados e dinâmicos, como a Copaíba (*Copaifera langsdorffii*), são elementos importantes em florestas em restauração em paisagens altamente fragmentadas. A Copaíba, com sua grande copa e frutos atrativos, fornece habitat, poleiro e recurso alimentar para uma infinidade de animais, especialmente aves frugívoras. Por sua vez, os animais realizam a dispersão de sementes da Copaíba, garantindo sua propagação e manutenção populacional. Este estudo busca compreender as relações da ocorrência e abundância de árvores de Copaíba com a composição da comunidade arbórea e de aves frugívoras, cobertura florestal e idade do fragmento. Selecionamos 24 remanescentes de Mata Atlântica no estado de São Paulo, Brasil, como nossa área de estudo; os indivíduos de Copaíba estavam presentes em metade deles. O inventário de árvores foi obtido de um banco de dados compartilhado pelo projeto NewFor, enquanto a comunidade de aves frugívoras foi inferida usando o Modelo Hierárquico de Comunidades de Espécies. As variáveis ambientais foram medidas a partir de mapas do MapBiomas e dados da literatura. As paisagens foram consideradas como *buffers* circulares de 1 km de raio ao redor de cada parcela remanescente. A análise de dados foi realizada utilizando a abordagem de seleção de modelos (modelos lineares generalizados) para comparar os diferentes efeitos de cada variável resposta na ocorrência e abundância de Copaíba. Os resultados principais mostraram que apesar da ocorrência de Copaíba não ser influenciada por nenhuma das variáveis do estudo, a idade do fragmento se mostrou associada à abundância de Copaíba, sugerindo que quanto mais antigo o fragmento, maior o número de indivíduos de Copaíba presente nele.

Palavras-chave: Regeneração natural, *Copaifera langsdorffii*, Diversidade de Árvores, Animais Frugívoros, Ecologia da Paisagem.

ABSTRACT

Large trees with a wide distribution and the ability to establish themselves in degraded and dynamic environments, such as Copaiba (*Copaifera langsdorffii*), are important elements in forests undergoing restoration in highly fragmented landscapes. Copaiba, with its large canopy and attractive fruits, provides habitat, perching, and food resources for a multitude of animals, especially frugivorous birds. In turn, the animals disperse Copaiba seeds, ensuring their propagation and population maintenance. This study seeks to understand the relationships between the occurrence and abundance of Copaiba trees and the composition of the tree and frugivorous bird communities, forest cover, and fragment age. We selected 24 Atlantic Forest remnants in the state of São Paulo, Brazil, as our study area; Copaiba individuals were present in half of them. The tree inventory was obtained from a database shared by the NewFor project, while the frugivorous bird community was inferred using the Hierarchical Modelling of Species Community. Environmental variables were measured from MapBiomas maps and literature data. Landscapes were considered as circular buffers of 1 km radius around each remaining plot. Data analysis was performed using the model selection approach (generalized linear models) to compare the different effects of each response variable on Copaiba occurrence and abundance. The main results showed that although Copaiba occurrence was not influenced by any of the study variables, fragment age was associated with Copaiba abundance, suggesting that the older the fragment, the greater the number of Copaiba individuals present in it.

Keywords: Natural regeneration, *Copaifera langsdorffii*, Tree Diversity, Frugivorous Animals, Landscape Ecology.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos e hipóteses.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1. Área de estudo.....	14
3.2. Coleta de dados.....	15
3.2.1 Variáveis bióticas.....	15
3.2.2 Variáveis ambientais.....	18
3.3 Análise de dados.....	18
3.4 Exploração de dados.....	19
4. RESULTADOS.....	20
4.1 Seleção de modelos.....	21
5. DISCUSSÃO.....	24
6. CONCLUSÃO.....	27
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	34

1. INTRODUÇÃO

Mudanças na estrutura da paisagem são grandes determinantes da presença, abundância e distribuição de espécies, sobretudo de aves, mamíferos e espécies arbóreas (Mazerolle; Villard, 1999; Pardini *et al.*, 2010) de forma que, quanto menor o tamanho de um fragmento florestal, menores são as perspectivas de persistência das espécies ao longo do tempo (Brooks; Pimm; Oyugi, 1999) e quanto mais isolado, menor é a diversidade, o tamanho populacional e o sucesso de (re)colonização das espécies (Pardini *et al.*, 2010). Esse cenário ilustra bem a configuração atual da Mata Atlântica que possui apenas 23% de sua cobertura florestal original e 36% de vegetação natural, com cerca de 97% dos fragmentos abaixo de 50 hectares e 60% dos mesmos sob intenso efeito de borda (> 90 m) (Vancine *et al.*, 2024).

Essa configuração da paisagem e os efeitos negativos causados pela fragmentação, isolamento e redução de cobertura florestal levaram a Mata Atlântica a um processo de secundarização de grande parte de suas florestas (Lira; Portela; Tambosi, 2021), que por sua vez, levaram, e têm levado à modificação da estrutura e composição florística através da homogeneização e predominância de árvores pioneiras (Lôbo *et al.*, 2011). Estima-se que 65% de todas as espécies arbóreas do bioma estão em perigo de extinção, número que chega aos 82% para espécies endêmicas, com grande parte dessas espécies sendo encontradas em áreas com maior taxa de fragmentação (De Lima *et al.*, 2024) e paralelamente, em pequenos fragmentos (Vancine *et al.*, 2024).

Apesar disso, a regeneração de florestas secundárias a partir de fragmentos florestais em áreas agrícolas abandonadas tem se mostrado significativamente importante para a manutenção das comunidades ecológicas (Chazdon, 2008). Ambientes florestais que passaram por algum distúrbio como desmatamento e fragmentação (De Lima *et al.*, 2024), encontram no processo de sucessão ecológica uma oportunidade de receber novos indivíduos, favorecendo a (re)colonização de espécies e aumentando sua conectividade com outros fragmentos (Arroyo-Rodríguez *et al.*, 2017).

Tais ambientes florestais sob intensa sucessão ecológica e com ausência de intervenção humana na restauração dependem majoritariamente de padrões de interação animal-plantas para sua composição florestal. Cerca de 45 a 90% das plantas lenhosas de florestas tropicais, como na Mata Atlântica, produzem frutos que servem como alimento para animais frugívoros, que por sua vez, dispersam sementes (Almeida-Neto *et al.*, 2008). Estas interações são cruciais para a persistência das espécies e dos processos ecológicos, especialmente para evitar o isolamento e a perda de variabilidade genética dessas populações (de Rezende *et al.*, 2015; Lira *et al.*, 2012; Neeff *et al.*, 2006).

A presença de aves frugívoras capazes de se alimentar de uma alta gama de espécies nativas em ambientes degradados (Motta, 2024) são fundamentais para a colonização de novos habitats, estruturação espacial e manutenção da diversidade, elementos esses essenciais para a composição da dinâmica populacional e restauração natural desses fragmentos (Bascompte; Jordano, 2006; Schupp; Milleron; Russo, 2002; Trakhtenbrot et al., 2005; Wang; Smith, 2002), ou seja, o estabelecimento e sucessão de novas florestas em áreas anteriormente abandonadas na Mata Atlântica está interconectada com as interações da comunidade biótica (aves frugívoras e árvores) entre si e entre o contexto da paisagem.

Em áreas que estão em etapas iniciais de regeneração, a presença de árvores que possuem grandes copas, madeira densa e frutos atrativos é essencial para o fornecimento de habitat, poleiros e recursos alimentares para diversos animais, principalmente aves frugívoras (Almazán-Núñez et al., 2021; Athiê; Dias, 2016). Dentre essas espécies, a Copaíba (*Copaifera langsdorffii*) se destaca pela sua ampla ocorrência e capacidade de se estabelecer em áreas degradadas, fragmentadas e em áreas de transição ecológica (Carvalho, 2003). A Copaíba é facilmente encontrada em florestas secundárias onde é amplamente consumida por frugívoros, pois seu arilo apresenta propriedades nutricionais muito atrativas para a avifauna, mostrando assim sua relevância na dinâmica entre a paisagem - devido à sua plasticidade ambiental - e a composição de comunidades bióticas em florestas emergentes (Galetti; Pizo, 1996; Maruyama et al., 2019; Purificação et al., 2014; Rabello; Ramos; Hasui, 2010; Siqueira et al., 2023), tendo o potencial de ser uma espécie importante para a manutenção da biodiversidade local.

Mesmo com todas as adaptações que favorecem seu estabelecimento em ambientes degradados, a Copaíba tem sofrido uma diminuição constante de sua população (De Lima et al., 2024; Olguin et al., 2020; Siqueira et al., 2023), o que talvez seja explicado pelo declínio da cobertura vegetal, da conectividade entre fragmentos e pela composição da comunidade vegetal e de frugívoros (Piotto et al., 2009). Visto que a Copaíba depende estritamente de animais para a dispersão de suas sementes na paisagem para garantir o recrutamento de plântulas e o aumento de sua população em comunidades vegetais regenerantes, este estudo buscou entender como a composição da comunidade de frugívoros e árvores, idade de regeneração do fragmento e a cobertura florestal de diferentes fragmentos florestais em regeneração influenciam na ocorrência e abundância dessa espécie na Mata Atlântica Semidecídua do Estado de São Paulo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

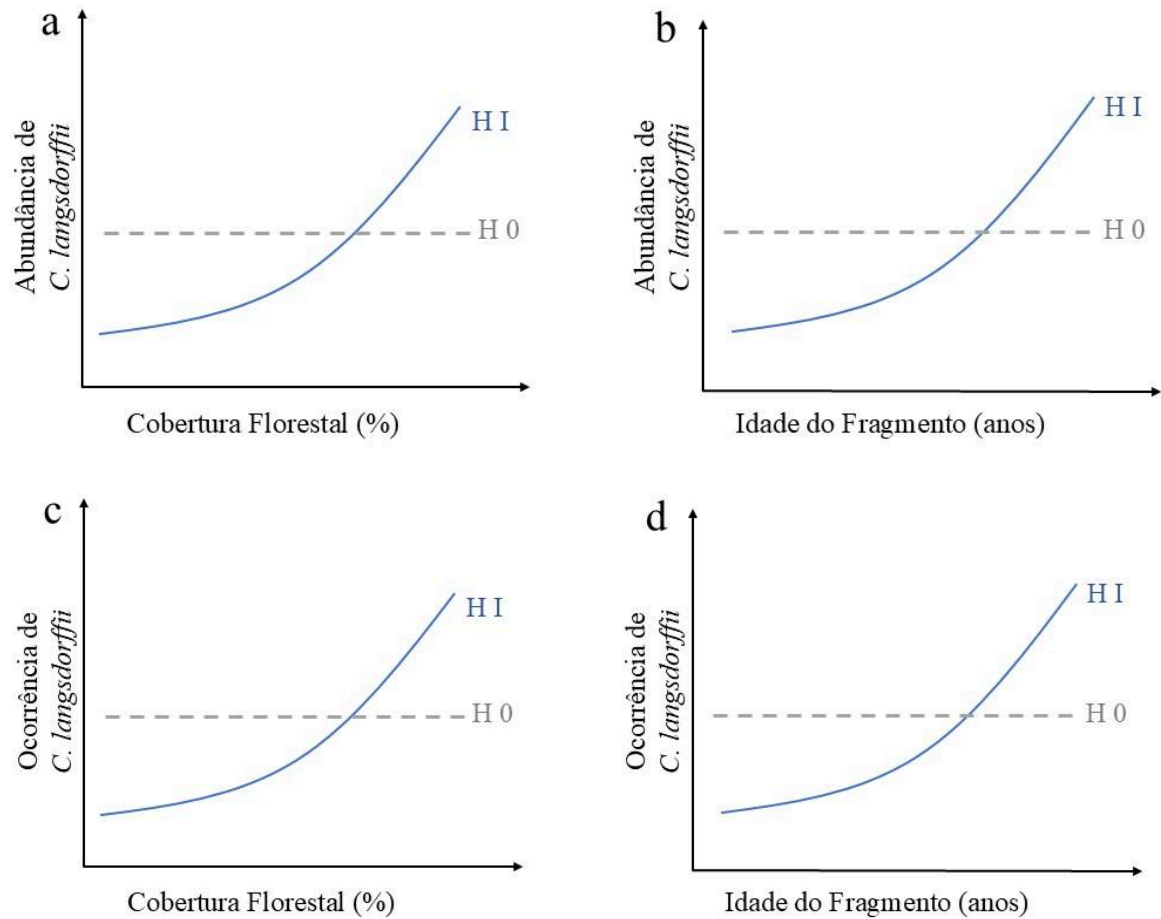
Este projeto de pesquisa teve como objetivo geral entender como os aspectos da estrutura da paisagem (cobertura florestal e idade do fragmento), comunidade vegetal e de aves frugívoras influenciam na ocorrência e abundância da Copaíba, uma árvore zoocórica de grande porte com alta plasticidade ecológica em um contexto de florestas em regeneração passiva.

2.2. Objetivos específicos e hipóteses

I) Avaliar a influência da idade de regeneração do fragmento e da porcentagem de cobertura florestal na ocorrência e abundância de *Copaifera langsdorffii*. Hipotetizamos que a porcentagem de cobertura florestal e a idade do fragmento propiciam um ambiente favorável para a ocorrência e abundância de *C. langsdorffii*.

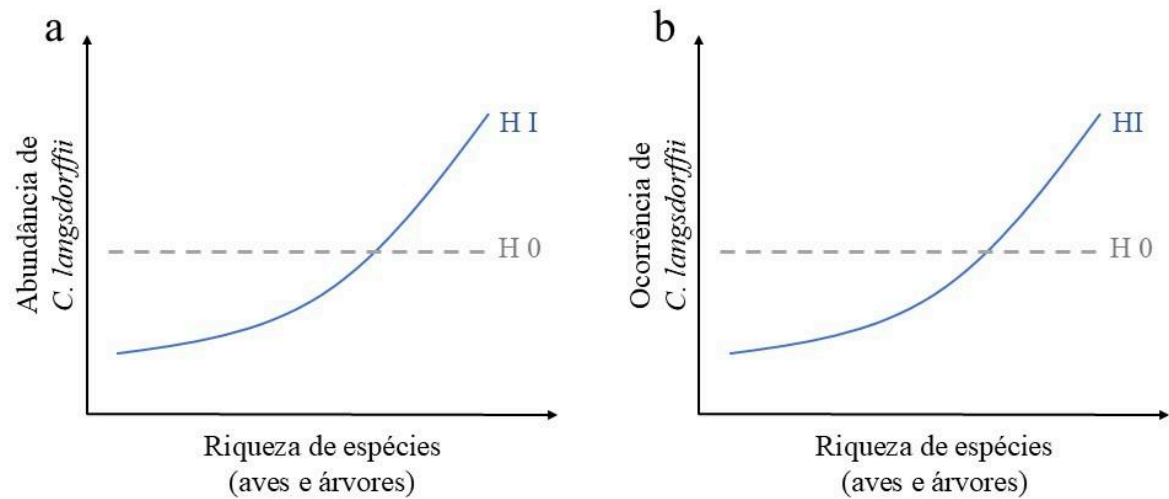
II) Avaliar a influência da riqueza de espécies arbóreas e a riqueza da comunidade de frugívoros na frequência de ocorrência e abundância de *C. langsdorffii*. Hipotetizamos que a riqueza de espécies arbóreas e de aves frugívoras no fragmento favorecem a abundância e a ocorrência de *C. langsdorffii*.

Figura 1. Previsões gráficas das hipóteses - se corroboradas - indicando a relação entre as variáveis ambientais (porcentagem de cobertura florestal e idade do fragmento) e a abundância e ocorrência de *C. langsdorffii*.



a. Predições entre a abundância de *C. langsdorffii* e cobertura florestal. **b.** Predições entre a abundância de *C. langsdorffii* e idade do fragmento florestal. **c.** Predições entre a ocorrência de *C. langsdorffii* e cobertura florestal. **d.** Predições entre a ocorrência de *C. langsdorffii* e idade do fragmento florestal. **H I.** Hipótese I. **H 0.** Hipótese nula.

Figura 2. Previsões gráficas das hipóteses - se corroboradas - indicando a relação entre as variáveis bióticas (riqueza de aves frugívoras e árvores no fragmento florestal) e a abundância e ocorrência de *C. langsdorffii*.



a. Predições entre a abundância de *C. langsdorffii* e a riqueza de espécies de aves frugívoras e árvores nos fragmentos. **b.** Predições entre a ocorrência de *C. langsdorffii* e a riqueza de espécies de aves frugívoras e árvores no fragmento florestal. **H I.** Hipótese I. **H 0.** Hipótese nula.

3. MATERIAL E MÉTODOS

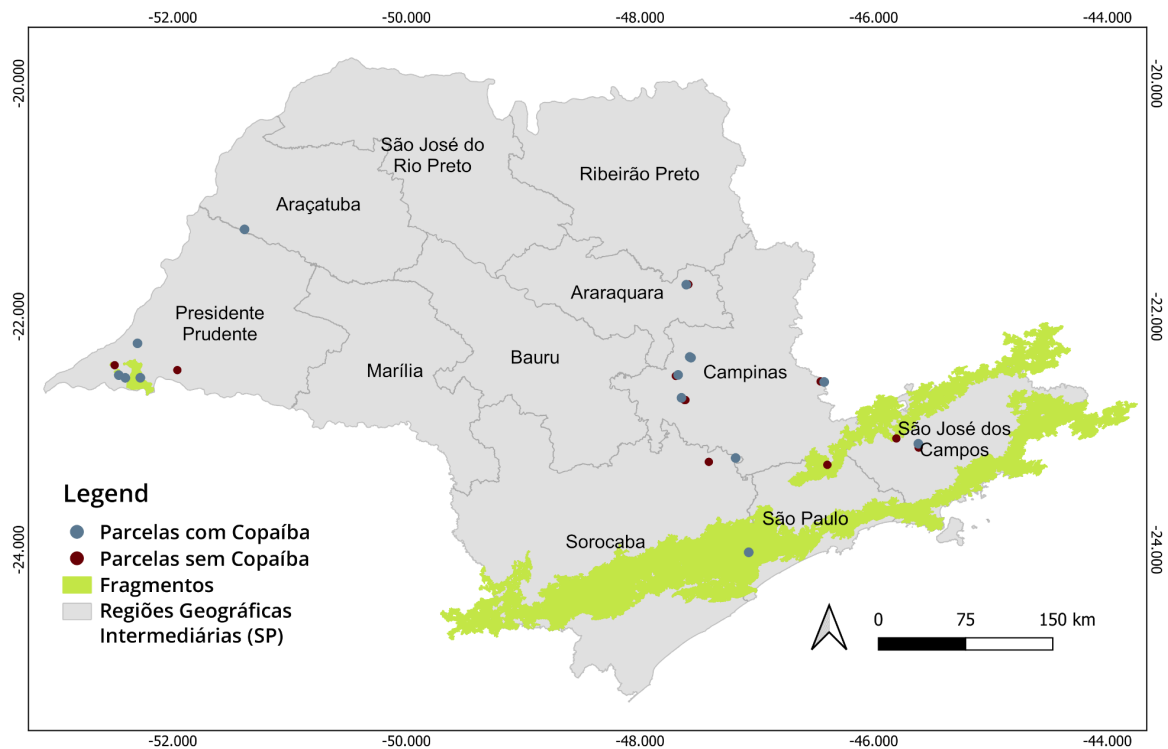
3.1. Área de estudo

Nossas áreas de estudo consistem de 28 remanescentes de florestas secundárias no domínio de Floresta Semidecídua Atlântica em processo de regeneração passiva (sem intervenção humana) dentro dos limites do Estado de São Paulo (Brasil). Estas áreas estão inseridas em uma paisagem com matriz de monoculturas como o cultivo de cana-de-açúcar, café e *Eucalyptus* spp. e pastagens para criação de gado (Solórzano; Brasil; Oliveira, 2021). Muitas destas áreas surgiram a partir do abandono de terras agropastoris por conta do êxodo rural e mais recentemente devido à promulgação da lei nº 11.428 (Brasil, 2006), deixando cada vez mais evidente o aumento da regeneração passiva em florestas tropicais (Sloan; Goosem; Laurance, 2016; Vancine *et al.*, 2024).

A área de estudo abrange mais de uma classificação climática Köppen, com predominância de parcelas em regiões classificadas como Aw e Cfa. O Aw apresenta temperatura média de 18°C no mês mais frio, com chuvas concentradas no verão até o outono e em meses secos com precipitação inferior a 60 mm. O Cfa é caracterizado por precipitações constantes ao longo do ano, sem período de estiagem, com temperaturas variando entre -3 e 18°C nos meses mais frios e maior que 22°C nos meses mais quentes (Rolim *et al.*, 2007).

Obtivemos informações acerca da composição arbórea de cada um dos 28 fragmentos em regeneração passiva da Mata Atlântica do Estado de São Paulo a partir de inventários florísticos conduzidos em parcelas de 30 x 30m entre 2019 e 2023 (Figura 3). Esses dados foram coletados e cedidos pela equipe do projeto NewFor liderado pelo Professor Dr. Pedro Brancalion (Esalq/USP), que, além dos inventários, caracterizou os fragmentos em várias tipologias de uso e cobertura do solo a partir de imagens aéreas e de satélite. Neste estudo focamos em quatro tipologias: monocultura abandonada, regeneração natural, remanescente conservado e remanescente degradado. Utilizamos estas quatro tipologias por serem consideradas áreas que estão submetidas à regeneração passiva. Dentre os 28 fragmentos, 14 contém indivíduos de *C. langsdorffii*, enquanto que a outra metade (com ausência de Copaíba) foi selecionada a partir da proximidade para com os fragmentos que possuem *C. langsdorffii*, com o intuito de estabelecer um desenho pareado para controlar o possível efeito da heterogeneidade ambiental ao longo da área de estudo.

Figura 3. Distribuição das parcelas de floresta secundária de Mata Atlântica Semidecídua com e sem ocorrência e abundância de *C. langsdorffii* no Estado de São Paulo.



Fonte: Gio Andrade Oliveira, 2024.

3.2. Coleta de dados

3.2.1 Variáveis bióticas

Utilizamos os dados de ocorrência dos indivíduos arbóreos inventariados pela equipe NewFor nas 28 parcelas (30 x 30m) que compreendem a identificação a nível de espécie de todos os indivíduos de hábito arbóreo e arbustivo com DAP (diâmetro na altura do peito) maior que 5 cm para calcular a riqueza de espécies de árvores, bem como a ocorrência e abundância de *C. langsdorffii*. No total, foram utilizadas 345 espécies de árvores deste inventário (Tabela S1).

Apesar da importância das aves nos processos ecológicos das florestas tropicais, a composição e os fatores que determinam a riqueza de espécies da avifauna em áreas sob regeneração ainda são pouco conhecidos (Pizo; Tonetti, 2020). Levando isto em consideração, utilizamos a determinação da comunidade de animais frugívoros de um estudo de modelagem (Knuit, 2023), que utilizou o Modelo Hierárquico de Comunidade de Espécies (Hierarchical Modelling of Species Community- HMSC) (Ovaskainen *et al.*, 2017) para prever espécies frugívoras de diferentes grupos taxonômicos presentes nos fragmentos de Mata Atlântica do

Estado de São Paulo a partir de diversos atributos, como ocorrências e características de espécies, covariáveis ambientais e contexto espacial (Tabela 1). Neste estudo utilizamos apenas os resultados do modelo para aves frugívoras baseado em dados da literatura e ciência cidadã (Knuit, 2023). A base de dados foi revisada para obter apenas espécies de aves que são verdadeiramente frugívoras e dispersoras. Espécies que possuem um potencial de frugivoria e dispersão de sementes muito pequeno (eventuais dispersoras), com tamanho do bico muito pequeno (< 6 mm) ou por serem representantes da família *Psittacidae* foram removidas, uma vez que as espécies com bico muito pequenos não seriam capazes de dispersar a semente da Copaíba e o hábito comum da família *Psittacidae* de quebrar a casca de sementes as torna muito mais predadoras de sementes do que dispersoras (Parmegiani, 2022). Esse procedimento foi realizado para aumentar o grau de realidade e acurácia dos dados modelados, resultando em um total de 58 espécies de aves frugívoras ocorrendo nos 28 fragmentos de Mata Atlântica utilizados neste estudo (Tabela S2).

Tabela 1. Atributos utilizados para construção do Modelo Hierárquico de Comunidade de Espécies para aves, adaptado a partir de tabelas de Knuitt, 2023.

Atributos de Aves	Descrição	Referências
Ocorrência por espécie	Dados de ocorrência coletados a partir de bases de dados	eBird e Atlantic Birds (eBird, 2021; Hasui <i>et al.</i> , 2018)
Massa corporal	Massa corporal (ln(g))	AVONET (Tobias <i>et al.</i> , 2022)
Especialização alimentar	Calculada usando o Índice de Levin para Diversidade Alimentar	EltonTraits (Wilman <i>et al.</i> , 2014)
Estrato de forrageamento	Valor numérico entre 0 e 5 (água, solo, sub-bosque, altura média, copa, aéreo) com base na porcentagem de tempo gasto em cada estrato.	EltonTraits (Wilman <i>et al.</i> , 2014)
Habilidade de dispersão	Índice de asa-mão (hand-wing index)	AVONET (Tobias <i>et al.</i> , 2022)
Atributos ambientais	Descrição	Referências
Cobertura florestal	Porcentagem de área de floresta nativa em um raio de 5 km ao redor de uma parcela	MapBiomas (Souza <i>et al.</i> , 2020)
Idade do fragmento	Proporção de pixels florestais de 30x30m com menos de 20 anos	(Silva Junior <i>et al.</i> , 2020)
Sub-região biogeográfica	Sub-regiões biogeográficas segundo Olson et al., (2001)	(Olson <i>et al.</i> , 2001)
Temperatura média	Temperatura média anual (°C), com resolução de 1 km	WorldClim (Fick; Hijmans, 2017)
Sazonalidade da temperatura	Desvio padrão da temperatura, com resolução de 1 km	WorldClim (Fick; Hijmans, 2017)
Precipitação anual	Precipitação média anual (mm), com resolução de 1 km	WorldClim (Fick; Hijmans, 2017)
Elevação	Elevação média (m) de cada célula da grade, com resolução de 1 km	WorldClim (Fick; Hijmans, 2017)
Declive	Mudança máxima de elevação entre a célula e seus vizinhos (em graus), com resolução de 1 km.	Hydro-1K dataset (USGS, 2018)

3.2.2 Variáveis ambientais

A partir da localização geográfica dos fragmentos disponibilizados pela equipe NewFor, Knuit (2023) calculou diversos atributos ambientais (Tabela 1), para este estudo utilizamos dados da cobertura florestal e idade do fragmento. A cobertura florestal foi definida como a porcentagem de vegetação nativa presente em *buffers* circulares de 5km, com o ponto central sendo a parcela de 30x30m de cada fragmento, para isto, utilizou-se mapas de 1995 à 2018 com resolução de 30 metros retirados do MapBiomas (Souza *et al.*, 2020). A idade do fragmento florestal foi calculada através de mapas da literatura para o período de 1985 à 2018 (Silva Junior *et al.*, 2020) com análise posterior desses mesmos mapas no QGis utilizando a ferramenta de histograma zonal para identificar a idade de pixels mais antigos que 33 anos e a proporção de células de 30x30m mais novas que 20 anos (Knuit, 2023).

3.3 Análise de dados

Utilizamos modelos lineares generalizados (GLM) para verificar a contribuição das variáveis preditoras (idade do fragmento, cobertura florestal, riqueza de árvores e aves frugívoras) sobre a ocorrência e abundância da Copaíba através da abordagem de seleção de modelos. Utilizamos a função *dredge* do pacote *MuMIn* no ambiente R para classificar os modelos, seguindo os modelos gerais:

$$\text{Modelo de ocorrência} \leftarrow \text{Presença/Ausência da Copaíba} \sim \text{Cobertura florestal} + \text{Idade} + \text{Riqueza de árvores} + \text{Riqueza de aves, família} = \text{Binomial}$$

$$\text{Modelo de abundância} \leftarrow \text{Abundância de Copaíba} \sim \text{Cobertura florestal} + \text{Idade} + \text{Riqueza de árvores} + \text{Riqueza de aves, família} = \text{Poisson}$$

Este tipo de análise utiliza diferentes combinações das variáveis preditoras para determinar qual combinação de variáveis proporciona a melhor - e estatisticamente significativa - explicação para a distribuição das variáveis respostas (ocorrência e abundância de Copaíba) dentro do conjunto de dados utilizado. O valor de AICc (AIC de segunda ordem, normalmente utilizado para análises com N amostral pequeno) representa a estimativa do quão próximo da realidade um modelo está em consideração aos outros modelos, de forma

que o modelo com menor AICc é o mais próximo da realidade em relação àquele conjunto de dados (Burnham; Anderson, 2002).

Os modelos foram selecionados a partir do valor de ΔAICc , que permite uma melhor interpretação e comparação dos resultados e escolha do modelo com a menor perda de informação (Burnham; Anderson, 2002; Wagenmakers; Farrell, 2004). Selecionamos para interpretação apenas os melhores modelos ($\Delta\text{AICc} < 2$) contanto que o modelo nulo não estivesse entre os melhores; se este fosse o caso, interpretamos que as variáveis preditoras deste estudo não estavam associadas à variável resposta, validando a hipótese nula (H_0).

3.4 Exploração de dados

A fim de evitar a multicolinearidade nos modelos lineares generalizados, certificamos que as variáveis preditoras não apresentavam correlações entre si analisando a normalidade na distribuição dos dados de cada variável preditora através do teste de Shapiro-Wilk e do Q-Q Plot (Figura S1 e S2) e após isso escolhemos o coeficiente de correlação mais adequado para o conjunto de dados.

Das quatro variáveis preditoras, a riqueza de frugívoros apresentou distribuição normal (valor de $p > 0.05$) enquanto as outras três apresentaram distribuição não-normal (Figura S1). Por termos variáveis com distribuição normal e não-normal, pontos *outliers* no banco de dados (Figura S2) e por trabalharmos com variáveis contínuas, decidimos utilizar o coeficiente de Spearman para verificar a correlação entre as variáveis (Khamis, 2008; Spearman, 1987).

Nenhuma variável preditora apresentou correlação significativa (Figuras S3 e S4), e dessa forma, seguimos para a análise de seleção de modelos sabendo que não há multicolinearidade entre as variáveis.

4. RESULTADOS

Dentre os 28 fragmentos a idade do processo de regeneração variou de 21 a 50 anos, com uma média de 44 anos. A cobertura florestal variou de seis a 83%, com média de 22%. A riqueza de aves frugívoras variou de uma a 19 espécies, com média de 8 espécies por fragmento. Por fim, a riqueza de árvores variou de nove a 67 espécies, com média de 22 espécies por fragmento (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição de variáveis preditoras e respostas dos 28 fragmentos secundários de Mata Atlântica em regeneração natural.

Variáveis Ambientais			
Variáveis	Descrição	Variação	Referência
Cobertura florestal	Porcentagem de floresta nativa em um raio de km em volta da parcela.	6.932 - 83.617	MapBiomas (Souza et al., 2020)
Idade do fragmento	Proporção de pixels de 30x30m mais jovens que 20 anos.	21.37 - 50	Silva-Junior et al., 2020
Variáveis Bióticas			
Variáveis	Descrição	Variação	Referência
Riqueza de árvores	Somatória da ocorrência de espécies de árvores nos fragmentos.	9 - 67	Newfor Database
Riqueza de aves frugívoras	Somatória da ocorrência de espécies de aves frugívoras preditas nos fragmentos.	1 - 19	Knuit, J., 2023
Abundância de <i>C. langsdorffii</i>	Somatória de indivíduos de ocorrência de Copaíba nos fragmentos.	0 - 17	Newfor Database
Ocorrência de <i>C. langsdorffii</i>	Presença ou ausência de indivíduos de Copaíba nos fragmentos.	0 - 1	Newfor Database

As espécies de árvores com maior frequência de ocorrência dentre todos os fragmentos foram *Croton floribundus* (Capixigui), *Casearia sylvestris* (Cafezeiro-do-mato), *Piptadenia gonoacantha* (Pau-jacaré), *Astronium graveolens* (Guaritá) e *Syagrus romanzoffiana* (Jerivá), enquanto que os frugívoros com maior frequência foram a *Patagioenas picazuro*, família *Columbidae* (Pomba-asa-branca), *Thraupis sayaca*, família *Thraupidae* (Sanhaçu-cinzento), *Pitangus sulphuratus*, família *Tyrannidae* (Bem-te-vi), *Turdus leucomelas*, família *Turdidae*

(Sabiá-barranco), *Euphonia chlorotica*, família *Fringillidae* (Fim-fim) e *Crotophaga ani*, família *Cuculidae* (Anu-preto).

4.1 Seleção de modelos

Analizamos os resultados da seleção de modelos lineares generalizados tanto para a ocorrência quanto para a abundância de Copaíba como variáveis resposta.

Para a ocorrência de Copaíba, o modelo nulo estava entre os melhores modelos selecionados, com $\Delta AICc$ igual a 0 (Tabela 3), validando a Hipótese nula (H_0) de que o conjunto de variáveis ambientais e bióticas não possuem influência estatisticamente significativa na ocorrência de Copaíba na Mata Atlântica Semidecídua do Estado de São Paulo.

Tabela 3. Lista do resultado dos melhores modelos da seleção de modelos lineares generalizados para avaliar a relação da ocorrência de Copaíba com as variáveis ambientais (idade do fragmento e cobertura florestal) e bióticas (riqueza de árvores e frugívoros) no Estado de São Paulo. **MN**, Modelo nulo; **I**, Intercepto; **IF**, Idade do fragmento; **CF**, Cobertura florestal; **RA**, Riqueza de árvores; **RF**, riqueza de frugívoros. **df**, grau de liberdade (degrees of freedom); **logLik**, probabilidade em log (log likelihood); **$\Delta AICc$** , diferença entre o valor de AICc de cada modelo e o AICc do melhor modelo; **weight**, peso de AICc; -, variáveis não consideradas no modelo.

Variáveis Preditoras						Descritores do Modelo				
MN	I	IF	CF	RA	RF	df	logLik	AICc	$\Delta AICc$	Weight
X	0	-	-	-	-	1	-19.408	40.97	0	0.269
	-0.010	0.433	-	-	-	2	-18.856	42.192	1.222	0.146

No caso da abundância de Copaíba, o modelo nulo não estava incluso entre os melhores modelos (Tabela 4), invalidando a hipótese nula. Porém como tivemos mais de um modelo plausível ($\Delta AICc < 2$), fizemos uma inferência multimodelo, calculando a média entre os quatro melhores modelos e analisando os coeficientes médios resultantes (Figura 4). Utilizamos a função *model.avg* do pacote *MuMIn* no ambiente R para calcular a média dos coeficientes e facilitar assim a interpretação dos resultados.

Tabela 4. Lista do resultado dos melhores modelos da seleção de modelos lineares generalizados para avaliar a relação da abundância de Copaíba com as variáveis ambientais (idade do fragmento e cobertura florestal) e bióticas (riqueza de árvores e frugívoros) no Estado de São Paulo. **MN**, Modelo nulo; **I**, Intercepto; **IF**, Idade do fragmento; **CF**, Cobertura florestal; **RA**, Riqueza de árvores; **RF**, riqueza de frugívoros. **df**, grau de liberdade (degrees of freedom); **logLik**, probabilidade em log (log likelihood); **ΔAICc**, diferença entre o valor de AICc de cada modelo e o AICc do melhor modelo; **weight**, peso de AICc; -, variáveis não consideradas no modelo.

Variáveis Preditoras						Descritores do Modelo				
MN	I	IF	CF	RA	RF	df	logLik	AICc	ΔAICc	weight
	0.322	0.778	-	-	-0.291	3	-69.151	145.302	0	0.265
	0.355	0.861	-0.263	-	-	3	-69.436	145.873	0.570	0.199
	0.383	0.783	-	-	-	2	-70.873	146.226	0.924	0.167
	0.318	0.815	-0.181	-	-0.239	4	-68.629	146.998	1.696	0.113

O modelo médio feito a partir da seleção de modelos lineares generalizados com a abundância da Copaíba como variável resposta incluiu três das quatro variáveis utilizadas no estudo: cobertura florestal, idade do fragmento e riqueza de frugívoros (Tabela 4).

A cobertura florestal e a riqueza de frugívoros apresentaram influência negativa à abundância de Copaíba (coeficientes médios < 0), porém tal relação não apresentou significância estatística (Figura 4), ou seja, mesmo que a cobertura florestal e riqueza de frugívoros tenham sido incluídas no modelo linear generalizado final, apenas a idade do fragmento apresentou influência estatisticamente significativa na abundância de Copaíba (Figura 4), de forma que quanto mais antigo o fragmento, maior é a quantidade de indivíduos de *C. langsdorffii* presentes nele (Figura 5).

Figura 4. Gráfico dos coeficientes médios e intervalos de confiança calculados a partir da média dos modelos lineares generalizados das variáveis preditoras que foram incluídas no modelo final. O intervalo de confiança de 95% ao redor dos coeficientes médios das variáveis cobertura florestal e riqueza de aves frugívoras sobrepôs ao zero, indicando que não são fatores não significativos dentro do modelo.

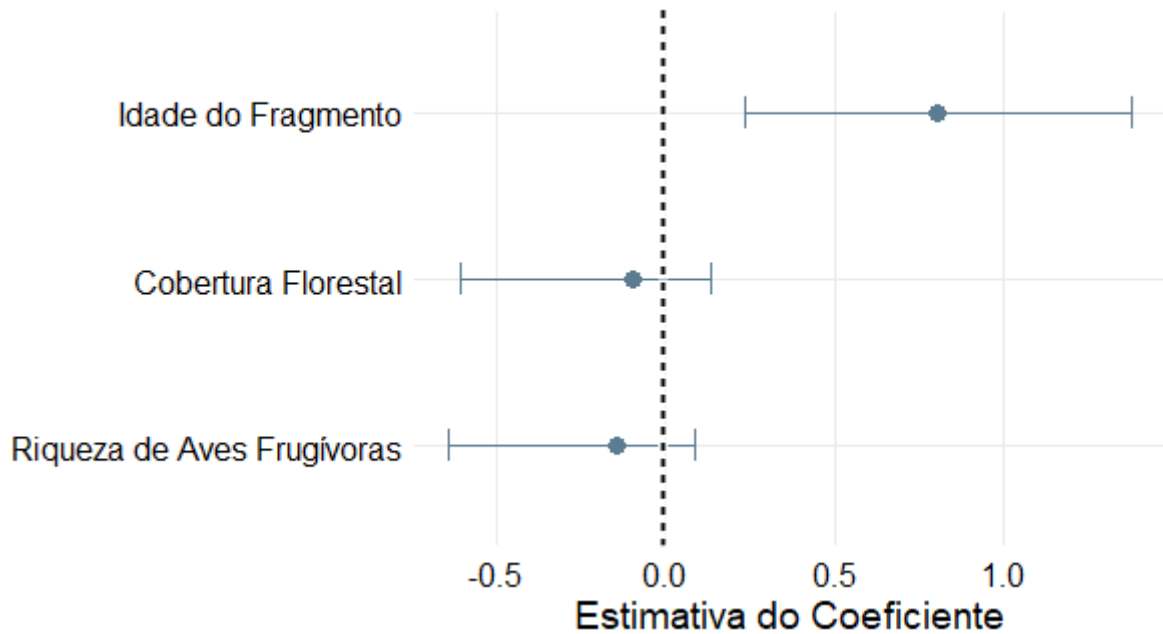
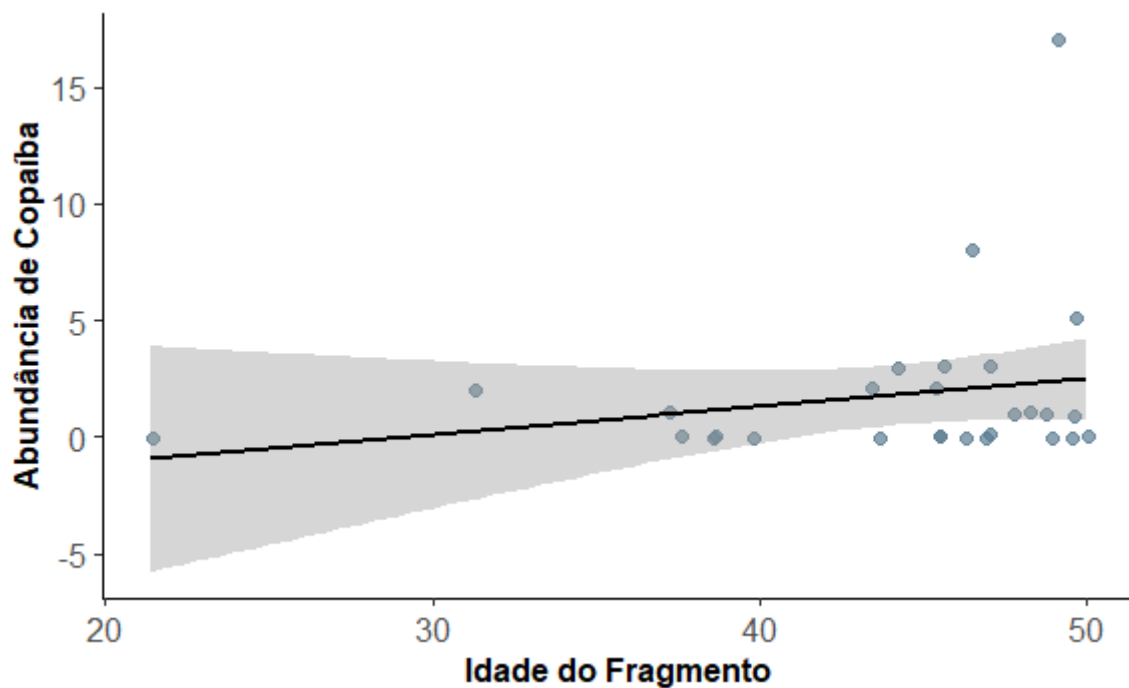


Figura 5. Gráfico de dispersão relacionando a idade do fragmento e abundância de Copaíba, com linhas de ajustes estatísticos.



5. DISCUSSÃO

Um dos grandes desafios de estudos ecológicos em ambientes dinâmicos e hiperdiversos, como a Mata Atlântica, é a complexidade de interações capazes de influenciar o objeto de estudo (Machado *et al.*, 2016; McDowell *et al.*, 2020). Áreas recentemente regeneradas sofrem efeitos de perturbações que podem afetar a funcionalidade ecológica, a comunidade biótica e até mesmo a população de uma espécie naquele fragmento florestal por décadas (Liebsch; Marques; Goldenberg, 2008), entender quais são os principais fatores influenciadores nestes ambientes é complexo, porém essencial para a conservação destas áreas. Levando isto em consideração, este estudo teve como objetivo principal explorar questões ecológicas envolvendo características da paisagem e da comunidade animal e vegetal para entender como estas são capazes de influenciar ou prever a presença e abundância de *C. langsdorffii*, uma árvore zoocórica importante para a estratificação e complexidade estrutural de fragmentos de florestas secundárias (Carvalho, 2003; Siminski *et al.*, 2021) que, apesar de ser caracterizada pela sua plasticidade ambiental, vem apresentando um declínio populacional constante (De Lima *et al.*, 2024).

Os resultados apontam que a presença ou ausência de Copaíba não foi influenciada por nenhuma das características da paisagem e da comunidade biótica utilizadas neste estudo. A abundância de Copaíba não apresentou relação com a porcentagem de cobertura vegetal e com a riqueza de árvores e aves frugívoras presentes nos fragmentos, porém a idade do fragmento florestal se mostrou positivamente relacionada com a abundância de Copaíba. Tal observação é consistente com o fato de ser uma espécie predominantemente classificada como secundária inicial a tardia com alta plasticidade ambiental (Carvalho, 2003; Siqueira *et al.*, 2023), ou seja, a permanência dessa espécie em fragmentos secundários parece depender do tempo de regeneração do fragmento, independente da quantidade de cobertura florestal ou da biodiversidade local.

Além disso, pode ser um indicativo de que estes fragmentos estão se desenvolvendo em seu estágio sucessional independente de seu tamanho, mostrando que, se continuarem sem grandes perturbações antrópicas, são locais de grande importância para a manutenção da diversidade e dos serviços ecossistêmicos locais (Souza *et al.*, 2021).

A ausência de efeito significativo da riqueza de aves frugívoras na abundância de Copaíba pode ser explicada pelo fato da Copaíba ser uma espécie com dispersão mais especialista devido ao tamanho de sua semente e, mesmo que a riqueza de frugívoros tenha sido modelada de acordo com a ocorrência de árvores nestes fragmentos, a maioria das

espécies de aves presentes no estudo são generalistas, com predominância de espécies da família *Thraupidae* (Tabela S1), consideradas más dispersoras para a Copaíba por terem o hábito de ingerir apenas o arilo e não dispersar a semente para longe da planta-mãe (Parmegiani, 2022). Além disso, a riqueza de espécies pode ser uma variável insuficiente para análise da importância da biodiversidade e conservação (Fleishman; Noss; Noon, 2006), possivelmente a abundância e composição da comunidade de espécies frugívoras seja uma métrica mais explicativa para a ocorrência ou abundância de árvores zoocóricas nesses fragmentos em regeneração, podendo ser um indicativo da funcionalidade em termos de probabilidade de eventos de dispersão (Quitíán *et al.*, 2019), ou seja, mesmo que a maioria das espécies frugívoras presentes sejam mais generalistas e não tão eficientes na dispersão de sementes de Copaíba (Parmegiani, 2022), a quantidade de indivíduos destas espécies pode aumentar a probabilidade de eventos de dispersão sucedida e deve ser considerada em próximos estudos.

Como dito anteriormente, a ocorrência e abundância de Copaíba não apresentou relação com o aumento da riqueza de árvores, diferente do que esperávamos, já que a espécie é mais tardia na sucessão e se beneficia de aspectos estruturais de florestas antigas - consequentemente com maior biodiversidade de árvores - como o sombreamento e o aumento da capacidade de recrutamento de espécies tardias (Lebrija-Trejos *et al.*, 2010). Possivelmente a falta de relação deve-se ao fato das espécies mais frequentes nos fragmentos serem de estágio inicial de sucessão, como o *Croton floribundus* (Capixigui), *Piptadenia gonoacantha* (Pau-jacaré) e *Syagrus romanzoffiana* (Jerivá), não refletindo a diversidade de áreas com estágio sucessional mais avançado. Sugerimos que para estudos futuros utilize-se de análises de grupos funcionais, focando na riqueza de árvores do mesmo grupo sucessional ou apenas árvores dispersas por animais.

Portanto, a idade de regeneração do fragmento não deve ser o único aspecto a ser considerado quando pensarmos na permanência e conservação desta espécie, mesmo que este padrão tenha sido observado em locais de grande importância para a manutenção de comunidades ecológicas, a Copaíba - como muitas outras espécies amplamente abundantes na Mata Atlântica - ainda assim apresenta declínio populacional considerável nos últimos anos (De Lima *et al.*, 2024). Outro fator importante, por exemplo, é o recrutamento inicial presente nestes fragmentos, investigar a presença de plântulas pode ajudar a entender a dinâmica populacional desta espécie e avaliar a permanência da mesma na paisagem.

Além disso, sugerimos que há outros fatores relacionados à paisagem para além da idade do fragmento e da cobertura florestal afetando a permanência desta espécie, afinal, a

configuração da paisagem é fundamental para entendermos a conectividade destes fragmentos, que por sua maioria são altamente isolados e imersos em matrizes pouco permeáveis para certos dispersores (Fuzessy *et al.*, 2024; Morante-Filho; Arroyo-Rodríguez; Faria, 2016), limitando assim a dispersão de sementes entre fragmentos, que só seria possível se feito por dispersores de longa distância.

6. CONCLUSÃO

Conforme demonstrado ao longo do estudo, a Copaíba possui alto potencial de sobrevivência em ambientes instáveis que enfrentam mudanças climáticas, sendo capaz de se adaptar morfológica e fisiologicamente em ambientes heterogêneos e transicionais, inobstante a porcentagem de cobertura florestal e riqueza da comunidade biótica. Apesar disso, é uma espécie secundária na sucessão ecológica e responde positivamente à idade de regeneração do fragmento florestal.

Ressaltamos que por ser uma espécie de grande importância para a complexidade estrutural do fragmento e disponibilização de recurso alimentar em florestas em regeneração, a permanência desta espécie nestes fragmentos florestais secundários pode ser essencial para o aumento na diversidade de nichos propícios para espécies frugívoras mais sensíveis à fragmentação e perda de habitat, portanto são necessários estudos futuros com maior número amostral e diferentes abordagens de análise de dados para melhor compreender o seu papel na conservação da paisagem e da diversidade local, assim como estudos da diversidade genômica e genética para investigar o declínio populacional desta espécie.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARROYO-RODRÍGUEZ, V. *et al.* Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. **Biol. Rev.**, [s. l.], v. 92, n. 1, p. 326–340, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/brev.12231>. Acesso em: 3 abr. 2024.

BRASIL. Das definições, objetivos e princípios do regime jurídico do bioma Mata Atlântica. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, 22 dez. 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 28 mar. 2024.

BROOKS, T. M.; PIMM, S. L.; OYUGI, J. O. Time Lag between Deforestation and Bird Extinction in Tropical Forest Fragments. **Conservation Biology**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 1140–1150, 1999. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.1999.98341.x>. Acesso em: 19 fev. 2024.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach**. 2. ed. New York: Springer, 2002. Disponível em: Acesso em: 8 set. 2024.

CARVALHO, P. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília : Embrapa Informação Tecnológica: [s. n.], 2003. v. 1

CHAZDON, R. L. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. **Science**, [s. l.], v. 320, n. 5882, p. 1458–1460, 2008. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1155365>. Acesso em: 28 mar. 2024.

DE LIMA, R. A. F. *et al.* Comprehensive conservation assessments reveal high extinction risks across Atlantic Forest trees. **Science**, [s. l.], v. 383, n. 6679, p. 219–225, 2024. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abq5099>. Acesso em: 22 jan. 2024.

DE REZENDE, C. L. *et al.* Atlantic Forest spontaneous regeneration at landscape scale. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], v. 24, n. 9, p. 2255–2272, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0980-y>. Acesso em: 27 mar. 2024.

EBIRD. **eBird: An online database of bird distribution and abundance**. [S. l.], 2021. aplicativo.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 37, n. 12, p. 4237–4250, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.5086>. Acesso em: 25 set. 2024.

FLEISHMAN, E.; NOSS, R. F.; NOON, B. R. Utility and limitations of species richness metrics for conservation planning. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 543–553, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X05000592>. Acesso em: 27 set. 2024.

FUZESSY, L. *et al.* Loss of species and functions in a deforested megadiverse tropical forest. **Conservation Biology**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. e14250, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cobi.14250>. Acesso em: 27 set. 2024.

GALETTI, M.; PIZO, M. A. Fruit eating by birds in a forest fragment in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 71–79, 1996.

HASUI, É. *et al.* ATLANTIC BIRDS: a data set of bird species from the Brazilian Atlantic Forest. *Ecology*, , 2018. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/15328>. Acesso em: 19 mar. 2024.

KHAMIS, H. Measures of Association: How to Choose?. **Journal of Diagnostic Medical Sonography**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 155–162, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/8756479308317006>. Acesso em: 10 set. 2024.

KNUIT, J. **The effects of reforestation and fragmentation on plant-frugivore networks in São Paulo, Brazil: A modelling approach**. 2023. 53 f. Dissertação de mestrado (Biologia, ecologia e biodiversidade) - Utrecht University, Netherlands, 2023.

LEBRIJA-TREJOS, E. *et al.* Pathways, mechanisms and predictability of vegetation change during tropical dry forest succession. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, [s. l.], v. 12, n. 4, p. 267–275, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1433831910000399>. Acesso em: 27 set. 2024.

LIEBSCH, D.; MARQUES, M. C. M.; GOLDENBERG, R. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 141, n. 6, p. 1717–1725, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320708001456>. Acesso em: 12 set. 2024.

LIRA, P. K. *et al.* Evaluating the legacy of landscape history: extinction debt and species credit in bird and small mammal assemblages in the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 49, n. 6, p. 1325–1333, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2664.2012.02214.x>. Acesso em: 28 mar. 2024.

LIRA, P. K.; PORTELA, R. de C. Q.; TAMBOSI, L. R. Land-Cover Changes and an Uncertain Future: Will the Brazilian Atlantic Forest Lose the Chance to Become a Hopespot?. In: MARQUES, M. C. M.; GRELLER, C. E. V. (org.). **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 233–251. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-55322-7>. Acesso em: 14 fev. 2024.

LÔBO, D. *et al.* Forest fragmentation drives Atlantic forest of northeastern Brazil to biotic homogenization. **Diversity and Distributions**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 287–296, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1472-4642.2010.00739.x>. Acesso em: 19 fev. 2024.

MACHADO, F. S. *et al.* Tree diversity of small forest fragments in ecotonal regions: why must these fragments be preserved?. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 525–537, 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10531-016-1063-4>. Acesso em: 23 fev. 2024.

MARUYAMA, P. K. *et al.* What is on the menu for frugivorous birds in the Cerrado? Fruiting phenology and nutritional traits highlight the importance of habitat complementarity. **Acta Botanica Brasilica**, [s. l.], v. 33, p. 572–583, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0221>. Acesso em: 4 dez. 2024.

MAZEROLLE, M. J.; VILLARD, M.-A. Patch characteristics and landscape context as predictors of species presence and abundance: A review ¹. **Écoscience**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 117–124, 1999. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/11956860.1999.11952204>. Acesso em: 14 fev. 2024.

MCDOWELL, N. G. *et al.* Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. **Science**, [s. l.], v. 368, n. 6494, p. eaaz9463, 2020. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaz9463>. Acesso em: 15 set. 2024.

MORANTE-FILHO, J. C.; ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; FARIA, D. Patterns and predictors of β -diversity in the fragmented Brazilian Atlantic forest: a multiscale analysis of forest specialist and generalist birds. **Journal of Animal Ecology**, [s. l.], v. 85, n. 1, p. 240–250, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1365-2656.12448>. Acesso em: 27 set. 2024.

MOTTA, C. I. **Seed dispersal and plant diet of fruit-eating birds in secondary forest fragments**. 2024. Dissertação de mestrado (Ecologia, evolução e biodiversidade) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Rio Claro, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/e02ff93f-e03e-4234-804e-aef34883b01b>. Acesso em: 20 ago. 2024.

NEEFF, T. *et al.* Area and Age of Secondary Forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: An Empirical Estimate. **Ecosystems**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 609–623, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10021-006-0001-9>. Acesso em: 28 mar. 2024.

OLGUIN, F. Y. *et al.* Morphological and physiological plasticity in seedlings of *Araucaria angustifolia* and *Cabralea canjerana* is related to plant establishment performance in the rainforest. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 460, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112719321772>. Acesso em: 24 fev. 2024.

OLSON, D. M. *et al.* Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving

biodiversity. **BioScience**, [s. l.], v. 51, n. 11, p. 933–938, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0933:TEOTWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2). Acesso em: 25 set. 2024.

OVASKAINEN, O. *et al.* How to make more out of community data? A conceptual framework and its implementation as models and software. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 561–576, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ele.12757>. Acesso em: 25 set. 2024.

PARDINI, R. *et al.* Beyond the Fragmentation Threshold Hypothesis: Regime Shifts in Biodiversity Across Fragmented Landscapes. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 5, n. 10, p. e13666, 2010. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0013666>. Acesso em: 19 fev. 2024.

PARMEGIANI, M. C. Dispersão de Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) por aves: uma análise comparativa de estudos. [s. l.], 2022.

PIOTTO, D. *et al.* Forest recovery after swidden cultivation across a 40-year chronosequence in the Atlantic forest of southern Bahia, Brazil. **Plant Ecology**, [s. l.], v. 205, n. 2, p. 261–272, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9615-2>. Acesso em: 28 mar. 2024.

PIZO, M. A.; TONETTI, V. R. Living in a fragmented world: Birds in the Atlantic Forest. **The Condor**, [s. l.], v. 122, n. 3, p. duaa023, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/condor/duaa023>. Acesso em: 20 fev. 2024.

PURIFICAÇÃO, K. N. *et al.* Interactions between frugivorous birds and plants in savanna and forest formations of the Cerrado. **Biota Neotropica**, [s. l.], v. 14, p. e20140068, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/BPT9GNtBDVMFcjKSSx4NrBd/>. Acesso em: 24 fev. 2024.

QUITIÁN, M. *et al.* Direct and indirect effects of plant and frugivore diversity on structural and functional components of fruit removal by birds. **Oecologia**, [s. l.], v. 189, n. 2, p. 435–445, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4324-y>. Acesso em: 27 set. 2024.

RABELLO, A.; RAMOS, F. N.; HASUI, É. Efeito do tamanho do fragmento na dispersão de sementes de Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Delf.). **Biota Neotropica**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 47–54, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032010000100004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 5 jan. 2024.

ROLIM, G. D. S. *et al.* Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, [s. l.], v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052007000400022&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 4 abr. 2024.

SILVA JUNIOR, C. H. L. *et al.* Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. **Scientific Data**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 269, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41597-020-00600-4>. Acesso em: 25 set. 2024.

SIMINSKI, A. *et al.* Dynamics of Natural Regeneration: Implications for Landscape Restoration in the Atlantic Forest, Brazil. **Frontiers in Forests and Global Change**, [s. l.], v. 4, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.576908>. Acesso em: 28 mar. 2024.

SIQUEIRA, M. V. B. M. *et al.* Phenotypic plasticity in *Copaifera langsdorffii* Desf. in different forest fragments in São Paulo state, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 95, p. e20210541, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/V3YqTLFN49sGzwTDxdCDzBN/?lang=en>. Acesso em: 24 fev. 2024.

SLOAN, S.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. Tropical forest regeneration following land abandonment is driven by primary rainforest distribution in an old pastoral region. **Landscape Ecology**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 601–618, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0267-4>. Acesso em: 28 mar. 2024.

SOLÓRZANO, A.; BRASIL, L. S. C. de A.; OLIVEIRA, R. R. de. The Atlantic Forest ecological history: from pre-colonial times to the anthropocene. In: MARQUES, M. C. M.; GRELLE, C. E. V. (org.). **The Atlantic Forest: History, Biodiversity, Threats and Opportunities of the Mega-diverse Forest**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 25–44. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-55322-7>. Acesso em: 14 fev. 2024.

SOUZA, C. R. *et al.* Long-term ecological trends of small secondary forests of the atlantic forest hotspot: A 30-year study case. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 489, p. 119043, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112721001328>. Acesso em: 13 set. 2024.

SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>. Acesso em: 25 set. 2024.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology**, [s. l.], v. 100, n. 3/4, p. 441–471, 1987. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1422689>. Acesso em: 10 set. 2024.

TOBIAS, J. A. *et al.* AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 25, n. 3, p. 581–597, 2022. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ele.13898>. Acesso em: 25 set. 2024.

VANCINE, M. H. *et al.* The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 291, p. 110499, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320724000600>. Acesso em: 28 mar. 2024.

WAGENMAKERS, E.-J.; FARRELL, S. AIC model selection using Akaike weights. **Psychonomic Bulletin & Review**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 192–196, 2004. Disponível em:

<https://doi.org/10.3758/BF03206482>. Acesso em: 2 set. 2024.

WILMAN, H. *et al.* EltonTraits 1.0: Species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. **Ecology**, [s. l.], v. 95, n. 7, p. 2027–2027, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/13-1917.1>. Acesso em: 25 set. 2024.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Tabela S1. Espécies de árvores utilizadas para o cálculo da riqueza de espécie de árvores por fragmento.

Espécies		
<i>Actinostemon conceptionis</i>	<i>Eugenia involucrata</i>	<i>Myrsine coriacea</i>
<i>Actinostemon klotzschii</i>	<i>Eugenia mosenii</i>	<i>Myrsine guianensis</i>
<i>Aegiphila integrifolia</i>	<i>Eugenia multicostata</i>	<i>Myrsine umbellata</i>
<i>Agonandra brasiliensis</i>	<i>Eugenia neoverrucosa</i>	<i>Nectandra grandiflora</i>
<i>Albizia niopoides</i>	<i>Eugenia paracatuana</i>	<i>Nectandra lanceolata</i>
<i>Alchornea glandulosa</i>	<i>Eugenia puberula</i>	<i>Nectandra megapotamica</i>
<i>Alchornea sidifolia</i>	<i>Eugenia puniceifolia</i>	<i>Nectandra membranacea</i>
<i>Alchornea triplinervia</i>	<i>Eugenia pyriformis</i>	<i>Nectandra oppositifolia</i>
<i>Allophylus edulis</i>	<i>Eugenia subavenia</i>	<i>Ocotea aciphylla</i>
<i>Allophylus semidentatus</i>	<i>Eugenia subglomerata</i>	<i>Ocotea braggae</i>
<i>Alseis floribunda</i>	<i>Eugenia subterminalis</i>	<i>Ocotea catharinensis</i>
<i>Amaioua intermedia</i>	<i>Eugenia supraaxillaris</i>	<i>Ocotea daphnifolia</i>
<i>Anadenanthera peregrina</i>	<i>Eugenia tenuipedunculata</i>	<i>Ocotea diospyrifolia</i>
<i>Andira anthelmia</i>	<i>Eugenia uniflora</i>	<i>Ocotea dispersa</i>
<i>Andira fraxinifolia</i>	<i>Euplassa legalis</i>	<i>Ocotea glaziovii</i>
<i>Annona dolabripetala</i>	<i>Euterpe edulis</i>	<i>Ocotea indecora</i>
<i>Annona glabra</i>	<i>Exostyles godoyensis</i>	<i>Ocotea nunesiana</i>
<i>Annona sylvatica</i>	<i>Faramea multiflora</i>	<i>Ocotea odorifera</i>
<i>Apuleia leiocarpa</i>	<i>Ficus guaranitica</i>	<i>Ocotea pulchella</i>
<i>Araucaria angustifolia</i>	<i>Ficus obtusifolia</i>	<i>Ocotea pulchra</i>
<i>Ardisia guianensis</i>	<i>Galipea jasminiflora</i>	<i>Ocotea silvestris</i>
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	<i>Genipa americana</i>	<i>Ormosia arborea</i>
<i>Aspidosperma olivaceum</i>	<i>Geonoma schottiana</i>	<i>Ouratea castaneifolia</i>

<i>Aspidosperma polyneuron</i>	<i>Guapira hirsuta</i>	<i>Ouratea parviflora</i>
<i>Astronium graveolens</i>	<i>Guapira noxia</i>	<i>Pachira glabra</i>
<i>Astronium urundeuva</i>	<i>Guapira opposita</i>	<i>Palicourea sessilis</i>
<i>Attalea dubia</i>	<i>Guarea guidonia</i>	<i>Parapiptadenia rigida</i>
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	<i>Guarea kunthiana</i>	<i>Peltophorum dubium</i>
<i>Banara tomentosa</i>	<i>Guarea macrophylla</i>	<i>Pera furfuracea</i>
<i>Bathysa australis</i>	<i>Guatteria australis</i>	<i>Pera glabrata</i>
<i>Bauhinia forficata</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Persea willdenovii</i>
<i>Brosimum glaziovii</i>	<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	<i>Philyra brasiliensis</i>
<i>Cabralea canjerana</i>	<i>Handroanthus chrysotrichus</i>	<i>Phyllanthus riedelianus</i>
<i>Calliandra foliolosa</i>	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	<i>Picramnia sellowii</i>
<i>Callisthene fasciculata</i>	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	<i>Pimenta pseudocaryophyllus</i>
<i>Callisthene minor</i>	<i>Handroanthus ochraceus</i>	<i>Piper arboreum</i>
<i>Campomanesia eugenioides</i>	<i>Handroanthus serratifolius</i>	<i>Piper cernuum</i>
<i>Campomanesia guaviroba</i>	<i>Heisteria silvianii</i>	<i>Piptadenia gonoacantha</i>
<i>Campomanesia guazumifolia</i>	<i>Helietta apiculata</i>	<i>Piptocarpha axillaris</i>
<i>Campomanesia neriiflora</i>	<i>Hieronyma alchorneoides</i>	<i>Piptocarpha macropoda</i>
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	<i>Hirtella hebeclada</i>	<i>Pisonia ambigua</i>
<i>Cariniana estrellensis</i>	<i>Holocalyx balansae</i>	<i>Platypodium elegans</i>
<i>Casearia decandra</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Pleroma sellowianum</i>
<i>Casearia gossypiosperma</i>	<i>Ilex brasiliensis</i>	<i>Plinia rivularis</i>
<i>Casearia grandiflora</i>	<i>Ilex dumosa</i>	<i>Podocarpus sellowii</i>
<i>Casearia lasiophylla</i>	<i>Ilex paraguariensis</i>	<i>Poecilanthe parviflora</i>
<i>Casearia obliqua</i>	<i>Ilex theezans</i>	<i>Pouteria caimito</i>
<i>Casearia sylvestris</i>	<i>Inga capitata</i>	<i>Pouteria gardneri</i>
<i>Cassia ferruginea</i>	<i>Inga marginata</i>	<i>Protium heptaphyllum</i>

<i>Cecropia glaziovii</i>	<i>Inga sessilis</i>	<i>Protium kleinii</i>
<i>Cecropia hololeuca</i>	<i>Inga vera</i>	<i>Protium spruceanum</i>
<i>Cecropia pachystachya</i>	<i>Ixora gardneriana</i>	<i>Protium widgrenii</i>
<i>Cedrela fissilis</i>	<i>Jacaranda macrantha</i>	<i>Prunus myrtifolia</i>
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Jacaranda micrantha</i>	<i>Pseudobombax grandiflorum</i>
<i>Ceiba speciosa</i>	<i>Lacistema hasslerianum</i>	<i>Pseudobombax longiflorum</i>
<i>Celtis fluminensis</i>	<i>Leandra melastomoides</i>	<i>Pseudopiptadenia leptostachya</i>
<i>Celtis iguanaea</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Psidium cattleianum</i>
<i>Centrolobium tomentosum</i>	<i>Leucochloron incuriale</i>	<i>Psidium guajava</i>
<i>Cestrum bracteatum</i>	<i>Lonchocarpus cultratus</i>	<i>Psychotria pedunculosa</i>
<i>Chomelia brasiliana</i>	<i>Luehea candicans</i>	<i>Psychotria suterella</i>
<i>Chrysophyllum flexuosum</i>	<i>Luehea divaricata</i>	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	<i>Luehea grandiflora</i>	<i>Roupala montana</i>
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	<i>Luehea paniculata</i>	<i>Rudgea gardenioides</i>
<i>Citharexylum myrianthum</i>	<i>Mabea fistulifera</i>	<i>Rudgea jasminoides</i>
<i>Citronella paniculata</i>	<i>Machaerium brasiliense</i>	<i>Ruprechtia laxiflora</i>
<i>Clethra scabra</i>	<i>Machaerium hirtum</i>	<i>Sapium glandulosum</i>
<i>Coccoloba warmingii</i>	<i>Machaerium lanceolatum</i>	<i>Schinus terebinthifolia</i>
<i>Colubrina glandulosa</i>	<i>Machaerium nyctitans</i>	<i>Sebastiania brasiliensis</i>
<i>Copaifera langsdorffii</i>	<i>Machaerium stipitatum</i>	<i>Sebastiania klotzschiana</i>
<i>Cordia americana</i>	<i>Machaerium villosum</i>	<i>Senegalia hoehnei</i>
<i>Cordia ecalyculata</i>	<i>Maclura tinctoria</i>	<i>Senegalia polyphylla</i>
<i>Cordia silvestris</i>	<i>Magnolia ovata</i>	<i>Senegalia velutina</i>
<i>Cordia trichotoma</i>	<i>Malouetia cestroides</i>	<i>Siparuna guianensis</i>
<i>Cordia macrophylla</i>	<i>Mangifera indica</i>	<i>Sloanea guianensis</i>
<i>Cordia myrciifolia</i>	<i>Maprounea guianensis</i>	<i>Sloanea hirsuta</i>

<i>Coussapoa microcarpa</i>	<i>Matayba elaeagnoides</i>	<i>Solanum bullatum</i>
<i>Coutarea hexandra</i>	<i>Matayba intermedia</i>	<i>Solanum cinnamomeum</i>
<i>Croton floribundus</i>	<i>Matayba obovata</i>	<i>Solanum pseudoquina</i>
<i>Croton salutaris</i>	<i>Meliosma chartacea</i>	<i>Sorocea bonplandii</i>
<i>Croton urucurana</i>	<i>Metrodorea nigra</i>	<i>Sparattosperma leucanthum</i>
<i>Cryptocarya aschersoniana</i>	<i>Metrodorea stipularis</i>	<i>Styrax acuminatus</i>
<i>Cryptocarya mandioccana</i>	<i>Miconia affinis</i>	<i>Syagrus romanzoffiana</i>
<i>Cryptocarya moschata</i>	<i>Miconia budlejoides</i>	<i>Symplocos estrellensis</i>
<i>Cryptocarya saligna</i>	<i>Miconia cinnamomifolia</i>	<i>Symplocos nitidiflora</i>
<i>Cupania furfuracea</i>	<i>Miconia dodecandra</i>	<i>Tabernaemontana catharinensis</i>
<i>Cupania ludowigii</i>	<i>Miconia formosa</i>	<i>Tabernaemontana laeta</i>
<i>Cupania oblongifolia</i>	<i>Miconia latecrenata</i>	<i>Tachigali paratyensis</i>
<i>Cupania vernalis</i>	<i>Miconia ligustroides</i>	<i>Tapirira guianensis</i>
<i>Cupania zanthoxyloides</i>	<i>Miconia petropolitana</i>	<i>Tapirira obtusa</i>
<i>Cyathea atrovirens</i>	<i>Miconia pusilliflora</i>	<i>Terminalia triflora</i>
<i>Cyathea corcovadensis</i>	<i>Mimosa bimucronata</i>	<i>Tetrapanax papyrifer</i>
<i>Cyathea delgadii</i>	<i>Mollinedia schottiana</i>	<i>Tetrorchidium rubrivenium</i>
<i>Dahlstedtia muehlbergiana</i>	<i>Mollinedia widgrenii</i>	<i>Tovomitopsis paniculata</i>
<i>Daphnopsis schwackeana</i>	<i>Monteverdia evonymoides</i>	<i>Trichilia catigua</i>
<i>Dendropanax cuneatus</i>	<i>Monteverdia gonoclada</i>	<i>Trichilia clausenii</i>
<i>Diatenopteryx sorbifolia</i>	<i>Moquiniastrum polymorphum</i>	<i>Trichilia elegans</i>
<i>Dictyoloma vandellianum</i>	<i>Myrceugenia myrcioides</i>	<i>Trichilia pallida</i>
<i>Didymopanax angustissimus</i>	<i>Myrceugenia pilotantha</i>	<i>Trichilia silvatica</i>
<i>Diploon cuspidatum</i>	<i>Myrceugenia rufescens</i>	<i>Urera baccifera</i>
<i>Duguetia lanceolata</i>	<i>Myrcia brasiliensis</i>	<i>Vernonanthura divaricata</i>
<i>Duguetia salicifolia</i>	<i>Myrcia eugeniopsoides</i>	<i>Vernonanthura petiolaris</i>
<i>Ecclinusa ramiflora</i>	<i>Myrcia guianensis</i>	<i>Virola bicuhyba</i>

<i>Endlicheria paniculata</i>	<i>Myrcia hebeptala</i>	<i>Virola sebifera</i>
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	<i>Myrcia multiflora</i>	<i>Vitex megapotamica</i>
<i>Esenbeckia febrifuga</i>	<i>Myrcia neolucida</i>	<i>Vochysia magnifica</i>
<i>Eugenia acutata</i>	<i>Myrcia pubipetala</i>	<i>Xylopias brasiliensis</i>
<i>Eugenia beaurepairiana</i>	<i>Myrcia selloi</i>	<i>Xylosma glaberrima</i>
<i>Eugenia brasiliensis</i>	<i>Myrcia spectabilis</i>	<i>Xylosma prockia</i>
<i>Eugenia copacabanensis</i>	<i>Myrcia splendens</i>	<i>Zanthoxylum caribaeum</i>
<i>Eugenia disperma</i>	<i>Myrcia strigipes</i>	<i>Zanthoxylum fagara</i>
<i>Eugenia dodonaeifolia</i>	<i>Myrcia tijucensis</i>	<i>Zanthoxylum monogynum</i>
<i>Eugenia excelsa</i>	<i>Myrcia tomentosa</i>	<i>Zanthoxylum petiolare</i>
<i>Eugenia expansa</i>	<i>Myrciaria delicatula</i>	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>
<i>Eugenia florida</i>	<i>Myrciaria floribunda</i>	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>
<i>Eugenia hyemalis</i>	<i>Myrciaria tenella</i>	<i>Zeyheria tuberculosa</i>

Tabela S2. Espécies de aves com ocorrência nos fragmentos de Mata Atlântica do Estado de São Paulo segundo Knuit (2023) com indicações da exclusão de espécies feita para o aprimoramento dos resultados modelo.

Família	Nomes Científicos	Nome popular	Excluídos
<i>Accipitridae</i>	<i>Buteogallus.urubitinga</i>	Gavião-preto	
<i>Anatidae</i>	<i>Dendrocygna.bicolor</i>	Marreca-caneleira	X
<i>Anatidae</i>	<i>Dendrocygna.viduata</i>	Irerê	X
<i>Cardinalidae</i>	<i>Habia.rubica</i>	Tiê-de-bando	
<i>Cariamidae</i>	<i>Cariama.cristata</i>	Seriema	X
<i>Columbidae</i>	<i>Leptotila.verreauxi</i>	Juriti-pupu	
<i>Columbidae</i>	<i>Patagioenas.cayennensis</i>	Pomba-galega	
<i>Columbidae</i>	<i>Patagioenas.picazuro</i>	Pomba-asa-branca	
<i>Corvidae</i>	<i>Cyanocorax.chrysops</i>	Gralha-picaça	
<i>Corvidae</i>	<i>Cyanocorax.cristatellus</i>	Gralha-do-campo	
<i>Cotingidae</i>	<i>Procnias.nudicollis</i>	Araponga	
<i>Cracidae</i>	<i>Penelope.obscura</i>	Jacuguaçu	
<i>Cracidae</i>	<i>Penelope.superciliaris</i>	Jacupemba	

<i>Cracidae</i>	<i>Pipile.jacutinga</i>	Jacutinga	
<i>Cuculidae</i>	<i>Coccyzus.americanus</i>	Papa-lagarta-de-asa-vermelha	X
<i>Cuculidae</i>	<i>Crotophaga.ani</i>	Anu-preto	
<i>Cuculidae</i>	<i>Crotophaga.major</i>	Anu-coroca	
<i>Falconidae</i>	<i>Milvago.chimachima</i>	Carrapateiro	X
<i>Formicariidae</i>	<i>Chamaeza.campanisona</i>	Tovaca-campainha	
<i>Fringillidae</i>	<i>Euphonia.chlorotica</i>	Fim-fim	
<i>Icteridae</i>	<i>Cacicus.haemorrhous</i>	Guaxe	
<i>Odontophoridae</i>	<i>Odontophorus.capueira</i>	Uru	
<i>Parulidae</i>	<i>Basileuterus.culicivorus</i>	Pula-pula	
<i>Parulidae</i>	<i>Parula.pitiayumi</i>	Mariquita	
<i>Picidae</i>	<i>Celeus.flavescens</i>	Pica-pau-de-cabeça-amarela	
<i>Picidae</i>	<i>Colaptes.melanochloros</i>	Pica-pau-verde-barrado	X
<i>Picidae</i>	<i>Dryocopus.lineatus</i>	Pica-pau-de-banda-branca	
<i>Picidae</i>	<i>Melanerpes.candidus</i>	Pica-pau-branco	
<i>Picidae</i>	<i>Melanerpes.flavifrons</i>	Benedito-de-testa-amarela	
<i>Pipridae</i>	<i>Antilophia.galeata</i>	Soldadinho	
<i>Pipridae</i>	<i>Chiroxiphia.caudata</i>	Tangará	
<i>Pipritidae</i>	<i>Piprites.chloris</i>	Papinho-amarelo	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Alipiopsitta.xanthops</i>	papagaio galego	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Amazona.aestiva</i>	papagaio verdadeiro	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Ara.chloropterus</i>	arara vermelha	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Brotogeris.chiriri</i>	Periquito-de-encontro-amarelo	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Brotogeris.tirica</i>	Periquito-rico	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Forpus.xanthopterygius</i>	Tuim	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Pionus.maximiliani</i>	Maitaca-verde	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Psittacara leucophthalmus</i>	Periquitão	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Pyrrhura.frontalis</i>	Tiriba-de-testa-vermelha	X
<i>Psittacidae</i>	<i>Triclaria.malachitacea</i>	Sabiá-cica	X
<i>Rallidae</i>	<i>Aramides.cajanea</i>	Saracura-três-potes	X
<i>Rallidae</i>	<i>Gallinula.chloropus</i>	Galinha-d'água	X
<i>Ramphastidae</i>	<i>Pteroglossus.aracari</i>	Araçari-de-bico-branco	
<i>Ramphastidae</i>	<i>Ramphastos.toco</i>	Tucanuçu	

	<i>Leptopogon.amaurocephalus</i>		
<i>Rhynchocyclidae</i>	<i>us</i>	Cabeçudo	
<i>Rhynchocyclidae</i>	<i>Todirostrum.cinereum</i>	Ferreirinho-relógio	
<i>Thamnophilidae</i>	<i>Thamnophilus.caerulescens</i>	Choca-da-mata	X
<i>Thraupidae</i>	<i>Paroaria.capitata</i>	Cavalaria	
<i>Thraupidae</i>	<i>Poospiza.lateralis</i>	Quete-do-sudeste	
<i>Thraupidae</i>	<i>Ramphocelus.carbo</i>	Pipira-vermelha	
<i>Thraupidae</i>	<i>Tachyphonus.coronatus</i>	Tiê-preto	
<i>Thraupidae</i>	<i>Tangara.cayana</i>	Saíra-Amarela	
<i>Thraupidae</i>	<i>Tangara.cyanocephala</i>	Saíra-militar	
<i>Thraupidae</i>	<i>Tangara.desmaresti</i>	Saíra-lagarta	
<i>Thraupidae</i>	<i>Tangara.seledon</i>	Saíra-sete-cores	
<i>Thraupidae</i>	<i>Tersina.viridis</i>	Saí-andorinha	
<i>Thraupidae</i>	<i>Thraupis.sayaca</i>	Sanhaço-cinzento	
<i>Thraupidae</i>	<i>Trichothraupis.melanops</i>	Tiê-de-topete	
<i>Thraupidae</i>	<i>Volatinia.jacarina</i>	Tiziu	X
<i>Tinamidae</i>	<i>Tinamus.solitarius</i>	Macuco	
<i>Tityridae</i>	<i>Schiffornis.virescens</i>	Flautim	
<i>Tityridae</i>	<i>Tityra.inquisitor</i>	Anambé-branco-de-bochecha-parda	
<i>Trogonidae</i>	<i>Trogon.surrucura</i>	Surucuá-variado	
<i>Turdidae</i>	<i>Turdus.albicollis</i>	Sabiá-coleira	
<i>Turdidae</i>	<i>Turdus.amaurochalinus</i>	Sabiá-poca	
<i>Turdidae</i>	<i>Turdus.leucomelas</i>	Sabiá-barranco	
<i>Turdidae</i>	<i>Turdus.rufiventris</i>	Sabiá-laranjeira	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Attila.rufus</i>	Capitão-de-saíra	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Camptostoma.obsoletum</i>	Risadinha	X
<i>Tyrannidae</i>	<i>Elaenia.flavogaster</i>	Guaracava-de-barriga-amarela	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Empidonomus.varius</i>	Peitica	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Megarynchus.pitangua</i>	Neinei	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Myiarchus.ferox</i>	Maria-cavaleira	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Myiarchus.tyrannulus</i>	Maria-cavaleira-de-rabo-enferrujado	
<i>Tyrannidae</i>	<i>Myiophobus.fasciatus</i>	Filipe	X

<i>Tyrannidae</i>	<i>Myiozetetes similis</i>	Bentevizinho-de-penacho-vermelho
<i>Tyrannidae</i>	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bem-te-vi
<i>Tyrannidae</i>	<i>Tyrannus savana</i>	Tesourinha
<i>Vireonidae</i>	<i>Hylophilus poicilotis</i>	Verdinho-coroado

Figura S1. Histograma das variáveis predictoras do estudo, juntamente com a estatística W e o valor de p do teste de Shapiro-Wilk. **a.** Histograma de cobertura florestal. **b.** Histograma de idade do fragmento. **c.** Histograma de riqueza de espécies de árvores. **d.** Histograma de riqueza de espécies de frugívoros.

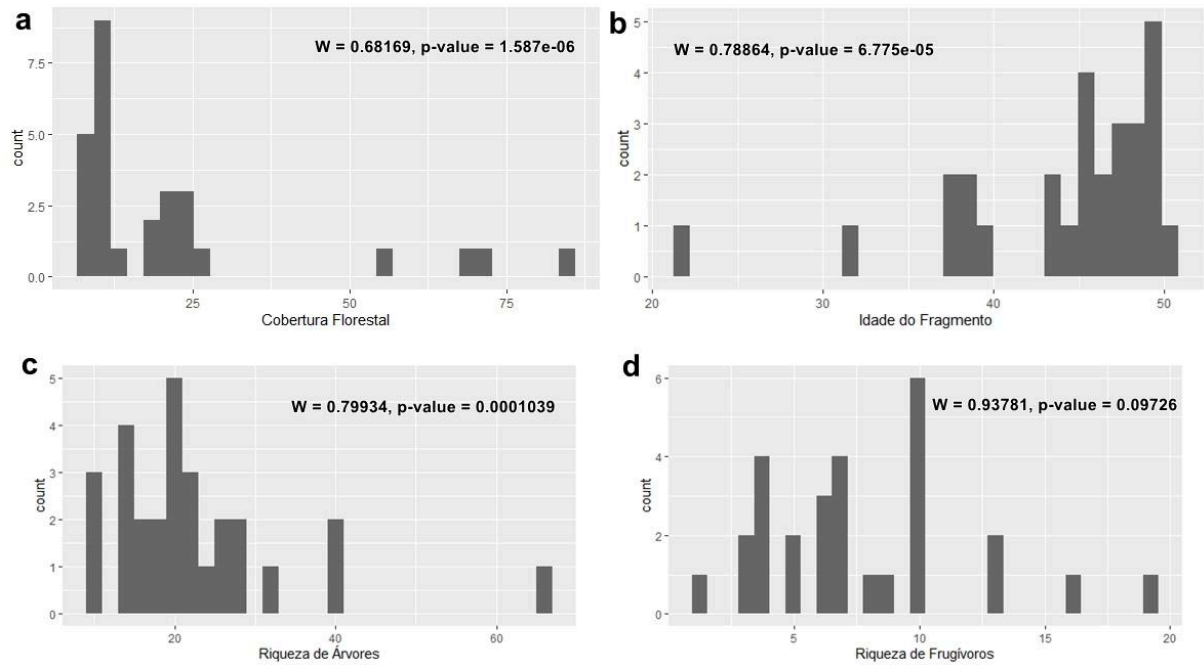


Figura S2. Q-Q plot das variáveis predictoras do estudo. **a.** Q-Q plot de cobertura florestal. **b.** Q-Q plot de idade do fragmento. **c.** Q-Q plot de riqueza de espécies de árvores. **d.** Q-Q plot de riqueza de espécies de frugívoros.

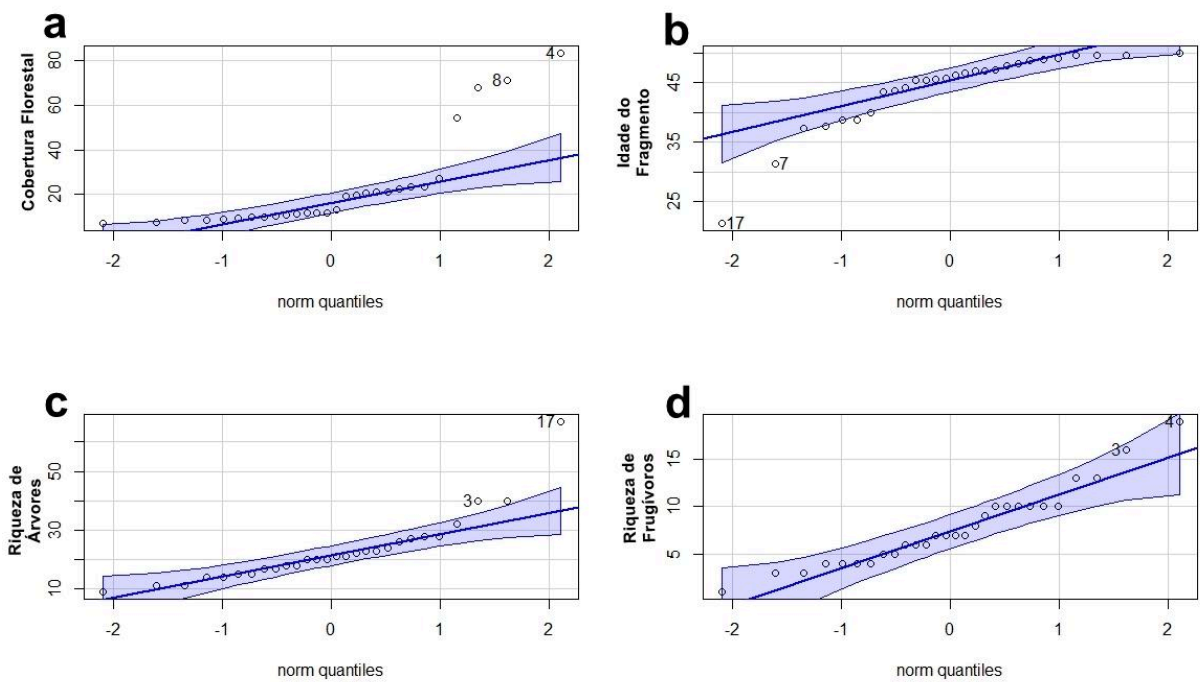


Figura S3. Correlação de Spearman entre variáveis do estudo. Azul indica relação positiva enquanto que vermelho indica relação negativa. A intensidade da cor reflete a intensidade da correlação.

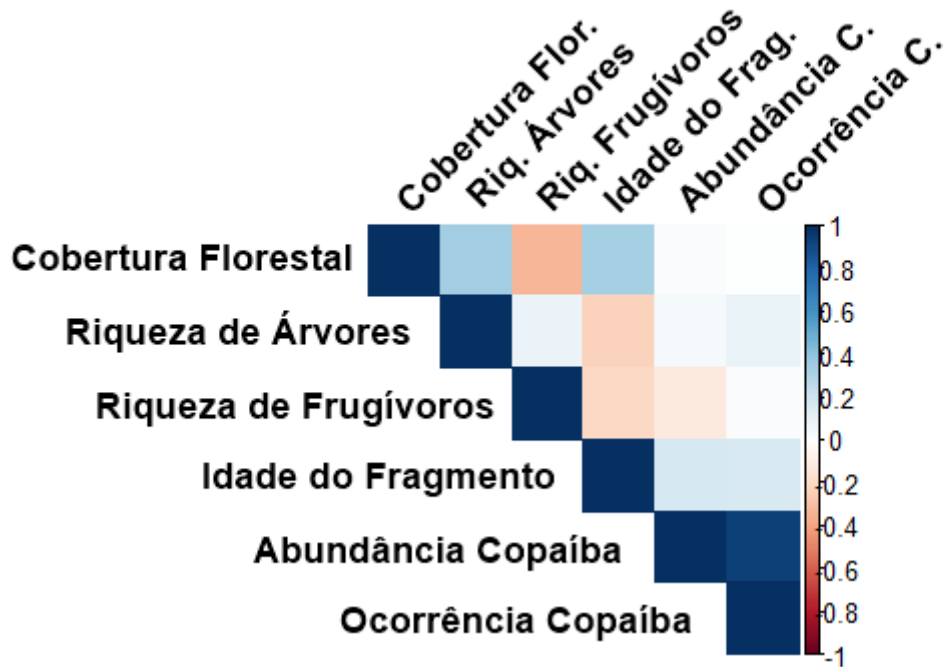


Figura S4. Gráfico do valor de p da correlação de Spearman entre variáveis do estudo. Quadrados em branco indicam que não há correlação entre as variáveis. Quadrados em azul indicam relação positiva entre variáveis. A intensidade da cor indica a intensidade da correlação.

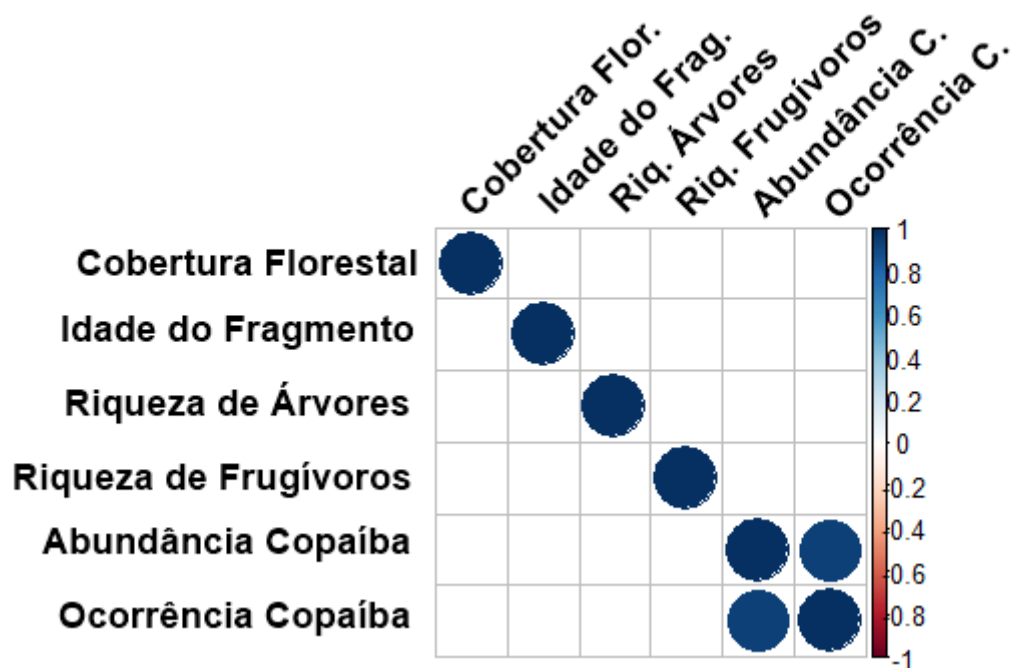


Tabela S3. Resultados da seleção de modelos lineares generalizados para avaliar a relação da ocorrência de Copaíba com as variáveis ambientais (idade do fragmento e cobertura florestal) e bióticas (riqueza de árvores e frugívoros) no Estado de São Paulo. **df**, grau de liberdade (degrees of freedom); **logLik**, probabilidade em log (log likelihood); **ΔAICc**, diferença entre o valor de AICc de cada modelo e o AICc do melhor modelo; **weight**, peso de AICc. Apenas modelos com $\Delta AICc < 2$ foram considerados para interpretação dos dados (destacados em cinza). Modelo nulo está marcado com X.

Variáveis Predictoras						Descritores do Modelo				
Modelo Nulo	Intercept	Idade do Fragmento	Cobertura Florestal	Riqueza de Árvores	Riqueza de Frugívoros	df	logLik	AICc	ΔAICc	weight
X	0	-	-	-	-	1	-19.40812 10556785	40.970088 2652031	0	0.269776224 525525
	-0.01046351500 10595	0.43311938 5285664	-	-	-	2	-18.85610 50751	42.192210 1502001	1.2221218 8499698	0.146427712 230126
	0.00052816100 4102218	-	-	-	0.200699821 013862	2	-19.27447 16801973	43.028943 3603947	2.0588550 9519157	0.096367139 7656957
	0.00010205548 045819	-	0.0884383 770287939	-	-	2	-19.38185 51481846	43.243710 2963692	2.2736220 3116611	0.086555151 6176626
	5.59208290990 519e-06	-	-	0.03208634 31721263	-	2	-19.40465 01572059	43.289300 3144118	2.3192120 492087	0.084604443 8235188
	0.00308891271 864878	0.55951015 7178467	-	-	0.394525689 452597	3	-18.44985 92864734	43.899718 5729468	2.9296303 0774369	0.062350872 3638998
	-0.00099136356 836702	0.65928068 2071414	-	0.42049153 2568024	-	3	-18.50798 43713179	44.015968 7426358	3.0458804 7743268	0.058830038 2223969
	-0.01067820783 51769	0.44794793 0708569	-0.0434201 841870477	-	-	3	-18.85044 97784193	44.700899 5568386	3.7308112 9163551	0.041770367 2841776

0.00078012239 106197	-	0.0281820 732378132	-	0.192050945 825184	3	-19.27213 43651457	45.544268 7302914	4.5741804 6508835	0.027398892 2777538
0.00044277009 944937	-	-	-0.02606534 58337484	0.208093020 957781	3	-19.27238 61794501	45.544772 3589002	4.5746840 9369707	0.027391993 7133698
0.00010084069 1644414	-	0.0854392 806238562	0.01466843 95643086	-	3	-19.38115 9899734	45.762319 7994679	4.7922315 3426481	0.024568792 7492035
0.02713611279 24236	0.79691466 0853709	-	0.41272167 9631319	0.402717237 318296	4	-18.14151 51417321	46.022160 7182468	5.0520724 5304373	0.021575460 7133786
-0.00681795350 746278	0.68140475 8078729	-0.2756814 73252875	-	0.506217912 717781	4	-18.29060 51487915	46.320340 7323655	5.3502524 6716243	0.018587077 5468793
-0.00065856083 5188449	0.85139674 7180762	-0.2881324 22432881	0.59469811 2670839	-	4	-18.32682 95233829	46.392789 4815483	5.4227012 1634523	0.017925821 3897032
0.00480613274 54316	1.26734785 082515	-0.6582594 45462423	0.74826201 8522288	0.652225250 310075	5	-17.53455 88068958	47.796390 3410644	6.8263020 758613	0.008885686 99489575
0.00073905092 2958032	-	0.0321007 861119159	-0.03004485 97893435	0.199399332 884894	4	-19.26940 34113598	48.277937 2575023	7.3078489 9229921	0.006984324 78181374

Tabela S4. Resultados da seleção de modelos lineares generalizados para avaliar a relação da abundância de Copaíba com as variáveis ambientais (idade do fragmento e cobertura florestal) e bióticas (riqueza de árvores e frugívoros) no Estado de São Paulo. **df**, grau de liberdade (degrees of freedom); **logLik**, probabilidade em log (log likelihood); **ΔAICc**, diferença entre o valor de AICc de cada modelo e o AICc do melhor modelo; **weight**, peso de AICc. Apenas modelos com $\Delta AICc < 2$ foram considerados para interpretação dos dados (destacados em cinza). Modelo nulo está marcado com X.

Variáveis Predictoras						Descritores do Modelo				
Modelo Nulo	Intercept	Idade do Fragmento	Cobertura Florestal	Riqueza de Árvores	Riqueza de Frugívoros	df	logLik	AICc	ΔAICc	weight
	0.32291787 1799353	0.77834694 8664433	-	-	-0.29164643 9004944	3	-69.15104 93088819	145.30209 8617764	0	0.2652411991 50605
	0.35596716 6860207	0.86162643 5009975	-0.26374009 3404267	-	-	3	-69.43654 6068721	145.87309 2137442	0.57099351 9678126	0.1993661009 1892
	0.38372977 7164483	0.78326219 3982701	-	-	-	2	-70.87345 50902922	146.22691 0180584	0.92481156 2820452	0.1670400854 22286
	0.31899435 4469772	0.81551220 7213267	-0.181139294 592125	-	-0.23910831 2693611	4	-68.62984 81870851	146.99882 6808953	1.69672819 118904	0.1135536601 55483
	0.30415872 0368455	0.74601950 2406315	-	-0.15055009 701944	-0.29167437 4253986	4	-68.91489 96049574	147.56892 9644697	2.26683102 693357	0.0853895804 036458
	0.35459328 9925674	0.76074987 3397743	-	-0.19135952 4051055	-	3	-70.45207 43800917	147.90414 8760183	2.60205014 241959	0.0722125985 827959
	0.35820833 7581455	0.87014514 2468572	-0.27625269 540757	0.027732960 9036589	-	4	-69.43066 40779644	148.60045 8590711	3.29835997 294759	0.0509813363 088836
	0.31384057	0.80066036	-0.16125629	-0.04462199	-0.24657529	5	-68.61482	149.95692	4.65483138	0.0258736197

	9751296	2741406	1315194	83381517	8288062	86358288	999893	116653	433178
	0.45473669 3789386	-	-	-0.32519403 0122798	-0.41008209 0070674	3 -72.78652 19535319	152.57304 3907064	7.27094528 929985	0.0069947995 592247
	0.50794380 5236552	-	-	-	-0.40797271 2851169	2 -74.14890 70250441	152.77781 4050088	7.47571543 232439	0.0063140788 6989517
	0.50376701 487092	-	-0.05339053 8757299	-	-0.40877115 6548148	3 -74.10250 47169348	155.20500 943387	9.90291081 610567	0.0018760794 2937477
	0.45519195 8090463	-	0.026282170 615805	-0.33518715 479209	-0.40911381 1861674	4 -72.77646 44231878	155.29205 9281158	9.98996066 33943	0.0017961747 5196528
	0.53224384 8875759	-	-	-0.35054437 7222803	-	2 -75.44129 57997102	155.36259 159942	10.0604929 816566	0.0017339345 0511943
X	0.57981849 5254216	-	-	-	-	1 -77.36096 32823811	156.87577 2718608	11.5736741 008444	0.0008136723 98421446
	0.53268040 3720502	-	-0.01614271 97647731	-0.34317447 5817147	-	3 -75.43669 27102411	157.87338 5420482	12.5712868 027183	0.0004941066 94736626
	0.57497985 6320945	-	-0.10340742 6426458	-	-	2 -77.13433 73954516	158.74867 4790903	13.4465761 731393	0.0003189731 05325153
