

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS**  
**NATURAIS**

DÁFINI LETÍCIA BRUNO

**SELEÇÃO DO SÍTIO REPRODUTIVO EM *ANTILOPHIA GALEATA* (AVES,  
PIPRIDAE)**

SÃO CARLOS -SP

2021

DÁFINI LETÍCIA BRUNO

SELEÇÃO DO SÍTIO REPRODUTIVO EM *ANTILOPHIA GALEATA* (AVES,  
PIPRIDAE)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Mercival Roberto Francisco



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

---

## Folha de Aprovação

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Dáfini Letícia Bruno, realizada em 15/04/2021.

### Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Mercival Roberto Francisco (UFSCar)

Prof. Dr. Augusto João Piratelli (UFSCar)

Prof. Dr. Leonardo Esteves Lopes (UFV)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais.

*Dedico este trabalho às mulheres que fazem ciência no país.*

## AGRADECIMENTOS

Com a conclusão desta pesquisa me sinto tão agradecida, por no final tudo ter dado certo e ter saído como eu gostaria, que me sinto imensamente feliz em elencar todos aqueles que contribuíram significativamente com este processo de crescimento.

Primeiramente, agradeço de todo meu coração as pessoas que me acompanharam e auxiliaram em campo, em especial ao meu namorado Diogo Chernieski, que foi meu braço direito nas coletas e dedicou muito tempo de trabalho ao meu lado, tornando possível a coleta de grande parte dos dados, e também por ter me dado suporte nos momentos de insegurança, cansaço e estresse.

Agradeço também aos demais amigos ajudantes de campo: Abraão Leite, Lahert dos Anjos, Cassiano Martins, Ludimilla Reis, meu orientador Prof. Mercival e demais amigos, que se disponibilizaram em andar no mato, tomar chuva, pegar carrapato, fugir das abelhas e conviver com os pernilongos. Contudo, dividimos bons momentos, aprendizados e avistamos bichos maravilhosos, momentos que levarei pra toda vida.

Ao meu orientador professor Mercival tenho inúmeros agradecimentos. Inicialmente, por me aceitar como aluna, por me acompanhar e me ensinar sobre o tema em campo e em sala de aula, e por possibilitar que eu estudasse uma espécie de ave tão especial. Agradeço pela parceria durante todas as etapas do mestrado, desde as coletas em campo até as análises dos resultados. Agradeço também por me proporcionar um processo de mestrado leve e divertido, em razão da sua postura tranquila, gentil e humilde. Meus sinceros agradecimentos e admiração.

Agradeço ao colega de pós graduação Lucas Dias Sanglade pela identificação das espécies de plantas, e por ter sido tão solícito com as identificações.

Agradeço a minha amiga e professora da graduação Daiane Carreira, pela ajuda na construção do gráfico que enriqueceu ainda mais este trabalho e pelas sugestões na qualificação.

Agradeço a minha família pelo apoio em minhas escolhas.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação (PPG-ERN) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro, imprescindível para a realização desta dissertação.

Finalmente, mas não menos importante, agradeço a mata e a espécie de estudo *Antilophia galeata*, por serem tão especiais e por me dar o estímulo e a energia necessária para ir a campo e assim, fazerem parte da minha jornada.

A todos, muito obrigada!

## RESUMO

O hábitat contém os fatores que garantem a reprodução e a sobrevivência das espécies. Escolher características específicas em um local para construir o ninho, que diferem do restante do hábitat disponível, define a seleção de sítio reprodutivo, a qual é uma das estratégias de reprodução usada por praticamente todas as espécies de aves. Embora o Brasil contenha uma das maiores diversidades de aves do mundo, para poucas espécies a seletividade quanto aos parâmetros do ambiente para nidificar foi avaliada. Estudos envolvendo a seleção de sítio de nidificação podem contribuir para a compreensão de como as mudanças no habitat podem afetar populações locais e revelar quais os requisitos do habitat para manter uma espécie alvo ou populações. O soldadinho, *Antilophia galeata*, é um Pipridae endêmico do bioma Cerrado e frequentemente encontrado nas florestas de galeria, e assim como a maioria dos passeriformes de sub-bosque, esta espécie é pouco conhecida sob a perspectiva da seleção do sítio de nidificação. Neste trabalho, avaliamos a seleção do sítio reprodutivo, por meio da identificação das espécies de plantas usadas como suporte para o ninho, e pela avaliação de nove variáveis do ambiente para uma população de *A. galeata* do sudeste do Brasil. Nossos resultados revelam que as fêmeas selecionam fortemente a espécie *Miconia nervosa* (Melastomatacea) como substrato para o ninho. Além disso, as análises de modelos lineares mistos generalizados (GLMM) revelaram que a presença de ninhos está positivamente associada com a cobertura do dossel e com a presença de indivíduos de palmeiras jussara, *Euterpe edulis* e *M. nervosa* ao redor do ninho. Estes resultados indicam que o soldadinho se reproduz em trechos de matas de galerias maduras e bem conservadas e destaca a importância da manutenção destas faixas de hábitat para a reprodução da espécie.

**Palavras-chave:** Aves. Região neotropical. Cerrado. Hábitat.

## ABSTRACT

The habitat contains factors that ensure the reproduction and survival of the species. Selecting nesting places with specific characteristics that differ from the rest of the available habitat defines the nest-site selection, and this is a breeding strategy used virtually by all bird species. Although Brazil contains one of the greatest bird diversities in the world, only a few species have been studied under a nest-site selection perspective. Nest-site selection studies may contribute to the comprehension on how habitat changes can affect the local populations, and reveal habitat requirements to maintain target species or populations. The Helmeted Manakin, *Antilophia galeata*, is a Pipridae endemic to the savanna-like Cerrado biome, being common in gallery forests, and like most tropical forest understory passerines, it poorly studied under a nest-site selection perspective. Here, we addressed nest site-selection by the identification of plant species used as nest support and by the assessment of nine environmental variables for a population of *A. galeata* from southeastern Brazil. Our results revealed that females strongly selected the species *Miconia nervosa* (Melastomatacea) as nesting plant. In addition, Mixed-effect Generalized Linear Model (GLMM) revealed the presence of nests was positively associated to canopy cover and to the presence of Jussara palms, *Euterpe edulis*, and number of *M. nervosa* individuals around nests. These results suggest that the Helmeted Manakin nests in mature and well-preserved galleries stretches and this study highlights the importance of maintaining these habitat strips for the reproduction of the species.

**Keyword:** Birds. Neotropics. Cerrado. Habitat.

## LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1:** A) Location of the city of São Carlos within São Paulo state, southeastern Brazil. B) Study area at the campus of São Carlos Federal University, depicting the stream along which the gallery forest is distributed, as well as nest-sites (green dots) and random sites within the gallery forest (pink triangles) where variables were measured. .... 20
- Fig. 2:** Graphical representation of the preference for *Miconia nervosa* bushes for nest construction by female Helmeted Manakins in a gallery forest from southeastern Brazil. The lengths of the bottom bars (gray) indicate the frequencies of use of each of the plant species: *P. laevigata* (2), Morphotype 1 (3), *G. ambiguous* (4), *Endlicheria* sp. (5), *E. paniculata* (6), *G. gamiova* (7), *G. Guidonia* (8), *G. kunthiana* (9), *M. ovata* (10), *P. longifolium* (11), *P. amalago* (12), *P. vellosiana* (13), and *P. marcgravii* (14). .... 25
- Fig. 3:** A) A nest of the Helmeted Manakin built in a horizontal fork of *Miconia nervosa*, containing two eggs. B) The same nest with the incubating female. In both images, the cover provided by the large leaves of *M. nervosa* are evidenced. Pictures by Dáfini L. Bruno. .... 26



## LISTA DE TABELAS

**Table 1.** Average, standard deviation (SD), and ranges of values (in parentheses) obtained for a set of nine variables used to compare nest sites ( $n = 46$ ) of the Helmeted Manakin, and random sites ( $n = 30$ ). .....26

**Table 2:** Results of GLMM modeling used to compare a set of environmental parameters between Helmeted manakin nests-sites and random points. For each variable we present: parameter estimated value (Estimate), Standard Error (SE), value of the Z-test used to address whether the variable has differed significantly from zero (Z-value), and its significance (p-value). .....27

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>16</b>
	<b>Nest-site selection in the Helmeted Manakin, <i>Antilophia galeata</i> (Pipridae) .....</b>	<b>16</b>
3.1.	ABSTRACT .....	17
3.2.	INTRODUCTION .....	17
3.3.	MATERIAL AND METHODS .....	19
3.3.1.	Study area.....	19
3.3.2.	Field procedures .....	20
3.3.3.	Nest-site selection .....	21
3.3.4.	Statistical analyses .....	23
3.4.	RESULTS .....	23
3.5.	DISCUSSION .....	27
3.6.	ACKNOWLEDGMENTS .....	29
3.7.	REFERENCES .....	30
3.8.	APPENDIX 1.....	36
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL .....</b>	<b>38</b>

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO

O hábitat é o conjunto de fatores físicos que garantem a reprodução e a sobrevivência das espécies. Já a seleção de hábitat, refere-se a uma resposta comportamental, que resulta no uso desproporcional do ambiente pela escolha dos componentes que mais lhe atribuem vantagens (BLOCK; BRENNAN, 1993). Intrinsecamente à seleção de hábitat está a seleção do sítio reprodutivo, que consiste na escolha apenas das variáveis do ambiente ao redor do local de nidificação e que possam influenciar na sobrevivência e desempenho do indivíduo e de sua prole (BLOCK; BRENNAN, 1993; JONES, 2001). Construir o ninho em locais com características específicas é uma estratégia de reprodução desempenhada pelas aves (BLOCK; BRENNAN, 1993; JONES 2000; MARTIN, 1988).

Estudos que avaliam a seleção do sítio reprodutivo são importantes por revelarem informações sobre a biologia reprodutiva e estratégias de conservação das espécies, tais como as exigências do hábitat para nidificar. Além disto, sinalizam sobre a persistência de uma espécie ou população alvo no ambiente, frente às mudanças na composição e estrutura do hábitat (DUQUETTE et al., 2019, HA et al., 2011; LOPES et al., 2018, PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2021; POIRAZIDIS et al., 2007).

Embora estudos de biologia reprodutiva sejam essenciais para o conhecimento das aves, dentro da ornitologia há uma considerável lacuna de informações sobre a reprodução das espécies, incluindo os fatores de seleção do local de nidificação. Somente um terço das espécies de aves do mundo têm os dados básicos reprodutivos descritos, como por exemplo o tamanho da ninhada e os períodos de incubação e permanência dos filhotes no ninho (XIAO et al., 2017). Além disso, diferentes espécies selecionam parâmetros divergentes em diferentes tipos de ambientes para nidificar (MARTIN 1993, POIRAZIDIS et al. 2007), o que dificulta a compreensão dos padrões de seleção dentro e entre os grupos de aves, sendo as de hábitos florestais, o grupo taxonômico com a maior deficiência de dados reprodutivos conhecidos (XIAO et al., 2017).

Poucos estudos no Brasil avaliaram a influência dos parâmetros do ambiente na seleção do sítio reprodutivo pelas aves, tendo sido avaliados para poucas espécies de diferentes ambientes. Para habitats abertos, como os campos de gramíneas com vegetação rasteira, a seleção do sítio reprodutivo foi verificada para algumas espécies. Para *Volatinia jacarina*, que habita campos com vegetação rasteira e arbustiva do Cerrado, Aguilar et al. (2008) mensuraram um conjunto de 11 variáveis do ambiente nos locais de ninhos (n=81) e em pontos aleatórios. Como resultados, descobriram que a altura do arbusto, assim como a interação entre a altura e

a porcentagem de cobertura da vegetação rasteira, são os parâmetros mais significativos na seleção do sítio reprodutivo para esta espécie. Para *Sporophila collaris* foi avaliado a seleção do sítio reprodutivo em campos abertos no Sul do país, por meio da avaliação de um conjunto de cinco variáveis do ambiente (ROSONI; KRUGEL; FOTANA, 2019). Como resultados significativos, a espécie demonstrou selecionar territórios ligados a água e a preferência em construir o ninho em locais com três estratos de vegetação, sendo a porcentagem de cobertura do estrato superior assim como a altura da vegetação, maiores nos locais de ninhos.

Para *Geositta poeciloptera*, um passeriforme ameaçado de extinção (VU) e que nidifica em cavidades construídas no solo em barrancos de áreas abertas, Meireles et al. (2018) investigaram quais atributos do solo são selecionados para o local do ninho. Para isso, variáveis do solo como o perfil, textura e resistência a perfuração foram medidas em ninhos encontrados (n=43) e em pontos aleatórios do ambiente. Como resultados significativos, a espécie preferencialmente seleciona o horizonte de solo “C” para construção do ninho devido a sua granulometria, que pode estar atribuído a facilidade de escavação pela espécie.

Para *Sula leucogaster*, espécie marinha que nidifica em rochas ou no solo com vegetação esparsa de ilhas oceânicas, Almeida et al. (2020) avaliaram a influência de uma gramínea invasora na seleção do sítio de nidificação da espécie. Para isso, foram coletadas sete variáveis da vegetação ao redor de 85 ninhos localizados em áreas invadidas e não invadidas pela gramínea, e como resultados significativos, a espécie demonstrou selecionar locais com menor cobertura da gramínea invasora e maiores quantidades de necromassa, em relação ao restante de hábitat disponível.

Quanto a hábitats abertos, porém com árvores isoladas, estudos com a seleção de sítio reprodutivo foi conduzido para duas espécies deste tipo de ambiente, em regiões diferentes. Para *Myiopsitta monachus*, um psitacídeo que nidifica em ninhos comunais com diversas cavidades, foram medidas e comparadas um conjunto de seis variáveis do ambiente nestas estruturas comunais (n=41) e no habitat restante disponível (BURGER; GOCHFELD, 2005). Como resultados, a espécie seleciona as árvores mais altas, robustas e mais distantes de habitações humanas para nidificar, além de frequentemente associar seus ninhos com os ninhos de *Jabiru mycteria*, por lhe conferir uma base resistente como sustentação e a proteção contra predadores. *Megascops choliba*, espécie nidificante secundária de cavidades, Dias e Lima (2015) avaliaram a seletividade de nidificação em uma área de Cerrado e para isso, os autores mediram sete variáveis do hábitat nas cavidades ninhos (n=16). Como principais resultados, obtiveram que a orientação da entrada do ninho para a direção nordeste, assim como a altura do ninho acima do chão, são as características das cavidades selecionadas pela espécie, quando

comparadas a outras disponíveis no ambiente.

Em relação a habitats mais densos, foi avaliado para *Cercomacra melanaria*, um Thamnophilidae endêmico do Pantanal, a seleção do sítio reprodutivo baseado na cobertura do dossel em ninhos encontrados (n=51) em uma floresta homogênea denominada de Cambarazal (BERNARDON; NÓBREGA; PINHO, 2014). Os autores obtiveram resultados significativos para o parâmetro medido, e indicam que a espécie seleciona locais com maior cobertura de dossel para nidificar.

Os primeiros trabalhos que avaliaram a seleção do sítio reprodutivo para espécies de ambientes mais heterogêneos como as florestas, somente vieram a ser publicados no último ano. A seleção do sítio reprodutivo foi avaliada para duas espécies de passeriformes, *Chiroxiphia caudata* e *Rhopias gularis*, que habitam o contínuo de floresta mais bem preservado da Mata Atlântica, buscando testar a hipótese do predador aquafóbico (PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2020). Esta hipótese prevê que a seleção de sítios de nidificação próximos a corpos d'água pode implicar em menores taxas de predação dos ninhos, devido à inibição ou relutância dos predadores em atravessar a água para acessar os ninhos (NOSKE et al., 2013). Os autores mediram oito variáveis ambientais e compararam com o restante do habitat disponível e como principais resultados, verificaram que as duas espécies selecionaram fortemente a proximidade de riachos para nidificar e a densidade da vegetação foi significativamente correlacionada com a presença de ninhos para *C. caudata*, enquanto que para *R. gularis*, somente a proximidade com riachos influenciou na presença dos ninhos.

Para o ameaçado *Onychorhynchus swainsoni*, que também habita porções bem preservadas da Mata Atlântica, Perrela; Zima; Francisco (2021) mensuraram quatro variáveis do ambiente e compararam com pontos aleatórios do habitat. Os resultados revelaram que a espécie seleciona galhos pendentes sobre riachos de aproximadamente 4 m de largura para a construção dos ninhos, havendo total ausência de ninhos longe de corpos d'água. Além disso, a densidade de vegetação esteve negativamente associada com a seleção dos galhos onde os ninhos foram construídos.

Os estudos que avaliam a seletividade de uma espécie em relação aos locais de nidificação também podem ser conduzidos experimentalmente no ambiente. Para *Streptoprocne biscutata*, um Apodidae que nidifica em paredes rochosas, Pichorim et al. (2009) verificaram a seleção de sítio de nidificação sob a hipótese de que os indivíduos usavam vestígios de ninhos antigos como sinais para a escolha do local do ninho. Desta forma, ninhos artificiais contendo materiais de ninhos antigos (n=86) e ninhos artificiais sem os vestígios (n=53) foram instalados e comparados entre si e com os ninhos naturais (n=62), que tiveram os

vestígios antigos removidos. Como resultados, os autores obtiveram que a espécie seleciona os locais que contém vestígios de ninhos antigos, ou seja, locais que já foram usados anteriormente para nidificar, embora os autores não tenham avaliado demais variáveis do ambiente para essa interpretação.

O Brasil é rico em diversidade de habitats e de espécies de aves (ICMBIO, 2018; PIACENTINI et al., 2015; SICK, 1997) e neste prévio compilado, pode ser observado que há um lento, porém, aumento de informações sobre as exigências das espécies sobre parâmetros do ambiente para a reprodução pelos diferentes domínios biogeográficos do país. Em outras partes do mundo, este tipo de estudo tem gerado alertas sobre a importância de se conservar as condições originais dos habitats (BISSON; FERRER; BIRD, 2002; KAASIKU; RANNAP; KAART, 2019), e os dados podem ser usados para complementar ações de conservação e manutenção das populações locais (BRAZILL-BOAST et al., 2011; HA et al., 2011; LOPES et al., 2018).

Diante destas informações disponíveis na literatura, somadas às incessantes alterações de habitats causadas pelo desmatamento, expansão da agricultura e desenvolvimento urbano (MAXWELL et al., 2016), torna-se imprescindível conhecer os fatores do ambiente que são selecionados na reprodução das aves, principalmente em biomas que sofrem com as pressões humanas, como o Cerrado (COLLI et al., 2020).

As matas de galerias pertencem ao domínio do bioma Cerrado e são definidas como florestas perenes e úmidas que se distribuem ao redor de estreitos riachos. A composição florística é bastante variada dependendo da localidade, mas é sempre formada pela combinação de espécies de plantas de centros de distribuições adjacentes, como a Amazônia ou Floresta Atlântica (SILVA, 1997). Matas de galeria do sudeste do Brasil recebem influência da Mata Atlântica e a composição florística nestas matas dispõe de espécies de ambos os domínios, como *Euterpe edulis* e a *Miconia nervosa*. Além das plantas, muitas espécies de aves compõem a vida das matas de galeria, utilizando o ambiente como áreas de alimentação e/ou reprodução.

O soldadinho, *Antilophia galeata*, é um passeriforme pertencente à família Pipridae e de exuberante beleza. O macho da espécie tem a coloração do corpo predominantemente preta que contrasta com o vermelho brilhante de sua crista, que inicia na frente logo acima do bico e vai até o dorso da ave. A fêmea é inteiramente de coloração verde oliva, também possui a crista na frente, embora menos evidente que a do macho (SNOW; DE JUANA, 2020). É uma espécie endêmica do Cerrado e sua distribuição geográfica acompanha a do bioma (MARINI; CAVALCANTI, 1992; SICK, 1997). Habita matas de galeria, capões, matas pantanosas e buritizais (SICK, 1997; SILVA, 1997; KIRWAN; GREEN, 2011; SNOW; DE JUANA, 2020).

Distribui-se na porção centro-sul do país, mas também reside no nordeste do Paraguai e da Bolívia. Atualmente tem o status de conservação classificado como pouco preocupante (LC) a nível global (IUCN, 2020) e estadual (SÃO PAULO, 2018), embora apresente declínio de suas populações (BIRDLIFE, 2018; KIRWAN; GREEN, 2011).

A biologia reprodutiva de *A. galeata* é conhecida, com as descrições básicas do ninho e dos ovos (Ihering, 1900) e as medidas da altura acima do solo, diâmetro externo, diâmetro interno e profundidade dos ninhos (MARINI, 1992; MARINI et al., 1997). Embora seja uma espécie comum do bioma Cerrado (MOTTA-JÚNIOR, 1990; SILVA, 1997, MARINI, 2001) teve a biologia reprodutiva recentemente detalhada, com a determinação do período de incubação, permanência dos filhotes nos ninhos e medidas dos ovos (comprimento, largura e peso) (MARÇAL; LOPES, 2019). Quanto a seletividade do ambiente para nidificar, permanece não avaliada.

## **2 OBJETIVOS**

Diante do exposto acima, os objetivos deste trabalho foram avaliar os parâmetros do habitat selecionados para a escolha dos locais de nidificação por fêmeas do soldadinho, *A. galeata*, em uma área de mata de galeria do Estado de São Paulo, sudeste do Brasil, bem como contribuir com novas informações sobre a biologia reprodutiva da espécie.

### **3 CAPÍTULO 1**

#### **Nest-site selection in the Helmeted Manakin, *Antilophia galeata* (Pipridae)**

*Submetido ao periódico Acta Ornithologica em 10 de março de 2021.*



### 3.1. Abstract

Studies on nest-site selection can reveal aspects of habitat requirements of the target species, and can be useful to infer about how habitat changes can affect local populations. The Helmeted Manakin, *Antilophia galeata*, is a piprid endemic to the humid gallery forests that occur along watercourses of the savanna-like Cerrado biome from central South America, and like most tropical forest understory passerines, it is poorly known under a nest-site selection perspective. Here we provide nest-site selection assessment based on nine variables for a population of the Helmeted Manakin from southeast Brazil. We found that females strongly selected *Miconia nervosa* (Melastomataceae) as nesting plant. Further, Mixed-effect Generalized Linear Model demonstrated that the presence of nests was positively associated to canopy cover and to the occurrence of the endangered jussara palm trees, *Euterpe edulis*. These results suggest that the Helmeted Manakin is reproducing in mature and well-preserved gallery forest tracts. Gallery forests are narrow stripes of riparian vegetation from the endangered Cerrado domain, and here we demonstrated that even in these linear habitats, the Helmeted Manakin can seek for specific portions for nesting. This is one of the few studies reporting nest-site selection in a Neotropical forest-dwelling passerine.

**Keywords:** Birds, canopy cover, plant species, Cerrado, gallery forests, tropical forest, Neotropics.

### 3.2. Introduction

Choosing nest-sites with specific characteristics is part of the reproductive strategies of virtually all bird species (BLOCK; BRENNAN, 1993; JONES, 2001; MARTIN, 1988). Nest-site selection can occur at different spatial scales, involving parameters such as proximity to habitat borders, clearings, or water bodies (BURHANS; THOMPSON, 1999; MARTIN, 1988; MARTIN, 1993; NOSKE; MULYANI; LLOYD, 2013), and at smaller scales the types of supporting plants and vegetation characteristics around nests (MARTIN; ROPER, 1988; MARTIN, 1993; MEZQUIDA, 2004). Studies on nest-site selection can contribute to the understanding of the reproductive tactics of the species and populations and reveal aspects of their habitat requirements (CHALFOUN; MARTIN, 2009; MARTIN, 1993). Further, under a conservation perspective, they contribute to the comprehension on how habitat changes can affect the local populations (BISSON et al., 2002; DUQUETTE et al., 2019; KAASIKU et al., 2019) and reveal habitat aspects that must be preserved or considered in restoration plans to

maintain avian communities (DUQUETTE et al., 2019; HA et al., 2011; LOPES et al., 2018; PERRELA; ZIMA; FRANCISCO, 2021; POIRAZIDIS et al., 2007).

The types of selected nest-site parameters are variable across species and habitats (MARTIN 1993; POIRAZIDIS et al., 2007), and gathering knowledge for as many species as possible is important for understanding the diversification of reproductive strategies within and between bird groups, and in the future, it will permit to investigate if broad patterns of selected characteristics can be draw for taxonomic groups or habitats. Although the neotropics concentrates the biggest bird diversity on earth (JENKINS et al., 2013), not many works have addressed nest site selection in this region, especially for forest-dwelling passerines (but see HIDALGO et al., 2012; PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2020, 2021).

Manakins (family Pipridae) are small frugivorous birds commonly found in Neotropical forests understory (KIRWAN; GREEN, 2011; SICK, 1997; SNOW; de JUANA, 2020). They are noticeable by their complex pre-nuptial displays, often carried out in pre-defined arenas, and by the remarkable sexual dimorphism (DUVAL, 2007; FRANCISCO et al., 2009; FOSTER, 1981, 1985; LOISELLE et al., 2007; MCDONALD, 1989). Males are characterized by bright colors, mostly with contrasting patterns of black, blue, and red, and females and immature individuals are generally olive green (KIRWAN; GREEN, 2011; SNOW; de JUANA, 2020). While males are under strong sexual selection for mating access (DUVAL, 2007; FRANCISCO et al., 2009; FOSTER, 1981, 1985; LOISELLE et al., 2007; MCDONALD, 1989) the females alone are responsible for nest construction, incubation and nestling provisioning (KIRWAN; GREEN, 2011; ZIMA et al., 2017; MARÇAL; LOPES, 2019a, b). The genus *Antilophia* is represented by only two species that differ from the other manakins for not performing their reproductive displays in collective arenas (MARÇAL; LOPES, 2019a). The Helmeted Manakin, *Antilophia galeata*, is distributed from central and southeastern Brazil to northeast Bolivia and Paraguay (KIRWAN; GREEN, 2011; SICK, 1997; SNOW; de JUANA, 2020). It is endemic to Cerrado biome and it is associated to forested habitats (KIRWAN; GREEN, 2011; SILVA, 1997; SICK, 1997; MARINI; CAVALCANTI, 1997; SNOW; de JUANA, 2020), such as the gallery forests and Buritizais, that are typical linear tropical forest formations that occur alongside watercourses. Eventually, *A. galeata* also can be found in ecotones between Atlantic Forest and Cerrado areas (MARÇAL; LOPES, 2019b). It is locally and globally classified as Least Concern by IUCN Red List (IUCN, 2020), but many local populations are vanishing due to habitat destruction (KIRWAN; GREEN, 2011). They construct cup-shaped nests, attached at the rim to slender horizontal forks or parallel branches of saplings or bushes from forest understory (MARINI, 1992a; MARINI et al., 1997;

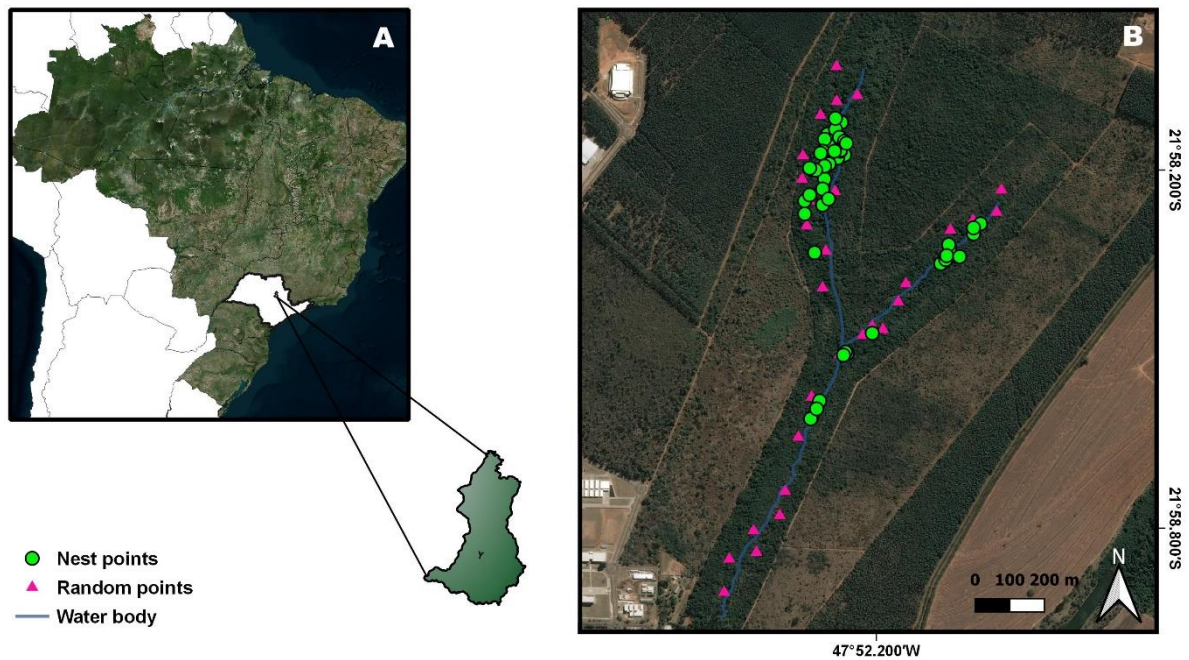
VON IHERING, 1900), and aspects of its breeding biology and nest placement were recently provided, including supporting plants, nest height above ground, and supporting branch diameters (MARÇAL; LOPES, 2019b). However, nest-site selectivity was never addressed.

Here we investigated nest-site selection in a population of the Helmeted Manakin from a gallery forest from São Paulo state, southeastern Brazil. Using mixed-effect generalized linear modeling, we reveal that this passerine selected mature and well-preserved gallery forest tracks, and that it strongly selects a specific plant species for nest construction, adding to the still insipient knowledge on nest site selection of Neotropical forest birds.

### **3.3. Material and methods**

#### **3.3.1. Study area**

Field work was carried out in an old-growth gallery forest located at the campus of São Carlos Federal University, in the city of São Carlos, state of São Paulo, southeastern Brazil (21°58'37'' S, 47°52'18'' W). This gallery forest is distributed alongside a stretch of 2.6 km of a narrow stream (Fig. 1), that varies from 50 to 100 cm in width and is about 30 to 50 cm in depth, while the gallery forest varies from 44 to 120 m in width. The stream bifurcated in the middle of the area, and for this reason the study area is Y-shaped. This gallery forest is embedded within a mosaic of Cerrado vegetation, mainly the arboreal ‘‘Cerradão’’, at different regeneration stages. Although the ecotones between the gallery forest and the Cerrado formations were sharply demarked from the ground, they cannot be distinguished in the satellite image (Fig. 1). The local climate is Cwa according to Köppen classification (warm climate with dry winter) (ALVARES et al., 2013), and the annual average temperature is 21.5°C and annual average rainfall is 1362 mm (EMBRAPA, 2020).



**Fig. 1:** A) Location of the city of São Carlos within São Paulo state, southeastern Brazil. B) Study area at the campus of São Carlos Federal University, depicting the stream along which the gallery forest is distributed, as well as nest-sites (green dots) and random sites within the gallery forest (pink triangles) where variables were measured.

### 3.3.2. Field procedures

We searched for nests by crossing the entire gallery forest transversally every 30 m, in such a way that the entire area was searched approximately every 20 days, from September to February in 2019/2020 breeding season, which matches the breeding season of the species in southeastern Brazil (MARÇAL; LOPES, 2019b), and from August to January in 2020/2021 breeding season. Nests were located by observing the females when they were carrying nest or feeding materials, and mainly by thoroughly inspecting the vegetation (MARTIN; GEUPEL, 1993). When nests were found, geographical coordinates were recorded using a GPS (Garmin Fênix 5). We collected data from active nests (in laying, incubation and nestling stages), and also from inactive nests for which construction was complete and had no evidence of deterioration (see also MARÇAL; LOPES, 2019b). We are confident that the latter were recently constructed nests that were depredated or fledged young before we could find them, and that they still preserved the nest-site conditions chosen by the nesting females. This is because nests of the Helmeted Manakin start to deteriorate only three to four weeks after predation or fledging (personal observation), differently, for instance, from the nests of the Blue Manakin, *Chiroxiphia caudata*, that stay in the wild in good conditions for up to two breeding seasons in Atlantic Forest areas (ZIMA et al., 2017, 2021). Furthermore, *A. galeata* is actually

the only Pipridae in the study area and for this reason, identification bias was unlikely.

In addition to the variables used in the nest site selection analysis (see below), for each nest we identified the plant species used as nesting substrate and we estimated the percentage of nest cover provided by leaves present right above nests (SLÁDECEK et al., 2014). The latter was estimated by taking a picture with the camera positioned 20 cm above nest, pointed to the center of the incubatory chamber. The pictures were checked in a photo editor for the visual estimation of the percentage of the nest covered by the foliage from above, considering a classification from 0 – 100%, at 10% intervals. To compare the percentage of nest cover provided by leaves from *M. nervosa* and for other plants species, we subdivide the supporting plants into two groups, 1) *M. nervosa* and 2) other plants species pooled together because of the low representativeness of each species.

### 3.3.3. Nest-site selection

For nest-site selection analysis, at each nest-site and random site we measured nine variables: distance from water, canopy cover, and at 3 m radius we measured: overall vegetation density, vegetation density above nest (3 m), number of plants with DHB  $\geq 10$  cm, number of plants with DHB  $< 10$  cm, number of jussara palm trees *Euterpe edulis*, number of arboreal ferns *Cyathea phalerata*, and number of *Miconia nervosa* bushes.

Jussara palm (*Euterpe edulis*), found in Cerrado and Atlantic Forest biomes, is one of the shade-tolerant understory species and can be a vegetal indicator of undisturbed areas (MEDEIROS, TOREZAN, 2012; CASTELLO, COELHO, CARDOSO-LEITE, 2017). In addition, it is typical of climax areas and it is a target to illegal extractive exploitation (GALETTI; FERNANDEZ 1998), being endangered (VU). Numbers of individuals of *E. edulis* was considered as variables because its presence may be associated to well-preserved forest stretches.

*Miconia nervosa* occurs in the understory of forest habitats and is associated with humid locations or watercourses (GOLDENBERG, 2009; MÜLLER et al., 2017, 2020; REZENDE et al., 2014), being considered a shade-tolerant species, although its seeds and seedlings withstand in sites with greater luminosity when water is available in the soil (ELLISON et al., 1993; MÜLLER et al., 2020). The inclusion of numbers of *M. nervosa* as a variable was adopted because it indicates humid and shaded stretches of the forest. Moreover, since the beginning of the work this plant proved to be among the most commonly used for nest construction, suggesting that they also could be a variable potentially selected by female Helmeted Manakins. Although it was used to test the plant preference, the search for nests was

not directed in *Miconia* bushes, but to all plants in the gallery forest.

Tree ferns, mainly from Cyatheaceae and Dicksoniaceae families, have slow growth rate and they have been related to forest successional stages (CASTELLO, COELHO, CARDOSO-LEITE, 2017). *Cyathea phalerata* is the most common fern of the study area, so that specie was chosen as an environmental variable because the presence of high individuals indicates mature forest stages. Theoretically, variables related to vegetation density may be associated to nest concealment, while canopy closure, number of plants with DBH  $\geq 10$  cm, and the presence of *E. edulis*, *M. nervosa* and *C. phalerata* may be related to the levels of maturation and conservation of the forest tracts.

For measurements, the nearest distance of each nest to forest stream was obtained with a measuring tape, from nest border to stream edge. Canopy cover was obtained using a spherical densitometer (Convex Model-A, Forest Suppliers, Jackson, Mississippi, USA), following the manufacturer instructions. The observer (DLB) held the equipment at in four cardinal directions, and the numbers of grids (maximum 96) of the mirror presenting light reflects were counted. Then, these values were averaged and multiplied by 1.04. After that, we subtracted the result from 100 to estimate the percentage of the canopy covered by vegetation (LEMMON, 1957).

Overall vegetation density was obtained by pointing a 3 m long rod horizontally from nest border to the four cardinal directions, and also up and down, and vegetation density was estimated as the sum of touches in the rod by vegetation (KILGO et al., 1996; MEZQUIDA, 2004; NORMENT, 1993). The number of touches in the rod above nest was also considered separately as a variable because this component of vegetation can be selected independently of overall vegetation density (e.g SALIVA; BURGER, 1989; KILGO et al., 1996). For counting the numbers of plants with DBH  $\geq$  and  $< 10$  cm in 3 m radius, only individuals that were at least 1 m in height were considered.

Random points ( $n = 30$ ) were drawn using QGIS 3.8.3 Software (QGIS Development Team 2019). We used a shapefile of the area that included both gallery forest and Cerrado to draw the random points, then, we checked these points from the ground and we considered for the analysis only those that fell inside the gallery forest (Fig. 1). For vegetation density estimates at these random points, we used the average height above ground obtained from the first 26 nests we found (1.72 m) for positioning the rod (HOLWAY, 1991).

### 3.3.4. Statistical analyses

The visual estimation of the percentage of nest cover provided by leaves right above incubatory chamber of nests was compared between nests constructed in *M. nervosa* and nests constructed in other plant species using t-test, performed in RStudio 1.1.423 (RStudio Team 2016). Mean  $\pm$  standard deviation is presented in results.

To investigate whether the addressed variables were involved in nest-site selection, we compared nest-sites with random sites using a Mixed-effect Generalized Linear Model (GLMM) with binomial distribution and logit-link function. Modeling was performed using the R-package lme4 (BATES et al., 2015) with nest sites coded as 1 and random points coded as 0. Prior to modeling, all of the variables were Z-score transformed and we tested for correlation between variables using the Pearson Correlation test implemented in the R-package corrplot. We considered variables as correlated when  $r > 0.6$ , and variables with less capacity to explain the data were removed from the analysis. As our dataset was collected during two different breeding seasons, ‘year’ was considered as a random-effect term. Model parameter estimates and their standard errors (SE) are reported, and Z-tests were carried out to test the importance of each variable within the model. All of the analyses were performed in RStudio 1.1.423 (RStudio Team 2016), adopting an alpha threshold of  $P \leq 0.05$ . Measurements of all numerical variables are presented as means  $\pm$  standard deviation (SD), and range. For the graphical representation of nesting plant preference, we constructed matrixes with the relative frequencies of the plant species used for nest construction using bipartite R-package, and Inkscape software for image edition.

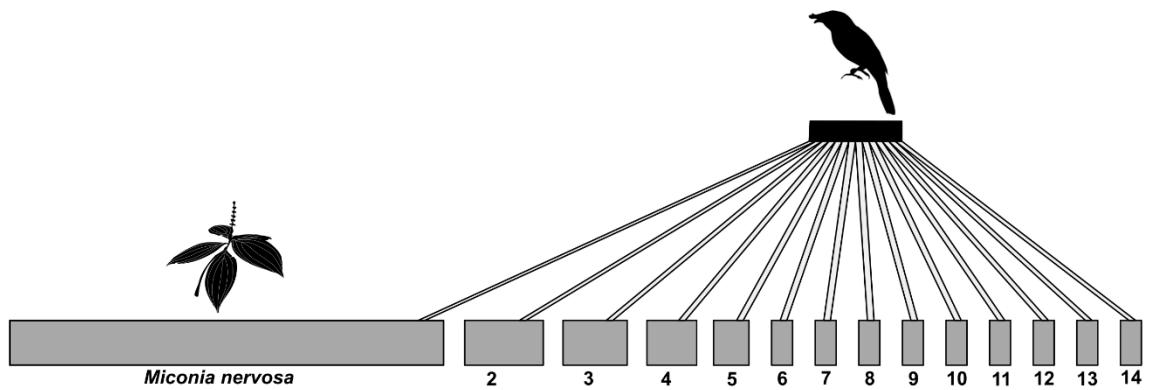
## 3.4. Results

We analyzed a total of 46 nests (16 active and 30 inactive), being 26 found in 2019/2020 breeding season, and 20 nests found in 2020/2021 breeding season. Nests were invariably constructed in bushes and saplings from forest understory. Most nests were placed at *M. nervosa* bushes (50%), but 13 other plant species were also used, of which 12 could be identified: *Pseudolmedia laevigata* (10.87%), Morphotype 1 (8.70%), *Geissanthus ambiguous* (6.52%), *Endlicheria* sp. (4.35%), *Endlicheria paniculata* (2.17%), *Geonoma gamiova* (2.17%), *Guarea guidona* (2.17%), *Guarea kunthiana* (2.17%), *Magnolia ovata* (2.17%), *Pachystroma longifolium* (2.17%), *Piper amalago* (2.17%), *Psychotria vellosiana* (2.17%), and *Palicourea marcgravii* (2.17%) (Fig. 2). Nests constructed at *M. nervosa* bushes had

significantly higher percentages of cover by leaves present right above nests ( $36.09 \pm 43.14$ ; Range = 0 – 100) than those constructed in other plant species ( $8.70 \pm 17.14$ ; Range = 0 – 50) ( $t = 2.83$ ,  $p = 0.007$ ) (Fig. 3).

Values for the nine variables compared between nest-sites and random sites are evidenced in table 1. None of the Z-transformed variables were correlated, and proving to be independent one from another (Appendix 1). The GLMM modeling revealed that three of the addressed variables were significantly correlated to nest presence: number of *M. nervosa* individuals, canopy cover, and number of jussara palms (Table 2).





**Fig. 2:** Graphical representation of the preference for *Miconia nervosa* bushes for nest construction by female Helmeted Manakins in a gallery forest from southeastern Brazil. The lengths of the bottom bars (gray) indicate the frequencies of use of each of the plant species: *P. laevigata* (2), Morphotype 1 (3), *G. ambiguous* (4), *Endlicheria* sp. (5), *E. paniculata* (6), *G. gamiova* (7), *G. Guidonia* (8), *G. kunthiana* (9), *M. ovata* (10), *P. longifolium* (11), *P. amalago* (12), *P. vellosiana* (13), and *P. marcgravii* (14).



**Fig. 3:** A) A nest of the Helmeted Manakin built in a horizontal fork of *Miconia nervosa*, containing two eggs. B) The same nest with the incubating female. In both images, the cover provided by the large leaves of *M. nervosa* are evidenced. Pictures by Dáfini L. Bruno.

**Table 1.** Average, standard deviation (SD), and ranges of values (in parentheses) obtained for a set of nine variables used to compare nest sites ( $n = 46$ ) of the Helmeted Manakin, and random sites ( $n = 30$ ).

Variables	Nest-sites	Random sites
Distance from water (m)	$14.70 \pm 14.21$ (0 – 57)	$28.79 \pm 28.14$ (1.7 – 115)
Canopy cover (%)	$66.76 \pm 8.27$ (48.52 – 84.92)	$55.46 \pm 13.66$ (31.88 – 81.02)
Vegetation density at 3 m radius	$20.39 \pm 7.93$ (2 – 42)	$14.63 \pm 8.80$ (1 – 44)
Vegetation density above nest	$3.72 \pm 1.93$ (0 – 9)	$3.50 \pm 2.57$ (0 – 8)
Number of plants with DBH $\geq 10$ cm at 3 m radius	$2.57 \pm 1.68$ (0 – 7)	$2.80 \pm 1.92$ (0 – 6)
Number of plants with DBH < 10 cm at 3 m radius	$50.37 \pm 14.01$ (30 – 105)	$53.10 \pm 25.65$ (0 – 111)
Number of <i>E. edulis</i> at 3 m radius	$12.02 \pm 6.61$ (0 – 28)	$4.80 \pm 8.70$ (0 – 38)
Number of <i>M. nervosa</i> bushes at 3 m radius	$5.28 \pm 5.71$ (0 – 22)	$0.57 \pm 1.70$ (0 – 9)
Number of <i>C. phalerata</i> at 3 m radius	$1.43 \pm 2.34$ (0 – 12)	$2.07 \pm 2.59$ (0 – 8)

**Table 2:** Results of GLMM modeling used to compare a set of environmental parameters between Helmeted manakin nests-sites and random points. For each variable we present: parameter estimated value (Estimate), Standard Error (SE), value of the Z-test used to address whether the variable has differed significantly from zero (Z-value), and its significance (p-value).

Variables	Estimate	SE	Z-value	p-value
(Intercept)	1.15919	0.54483	2.128	0.0334
Distance from water	-0.99131	0.67066	-1.478	0.1394
Canopy cover*	1.20569	0.50249	2.399	0.0164
Vegetation density at 3m radius	0.71776	0.47230	1.520	0.1286
Vegetation density above nest	0.29944	0.46702	0.641	0.5214
Number of plants DBH $\geq$ 10	-0.14616	0.42306	-0.345	0.7297
Number of plants DBH <10	-0.08519	0.37116	-0.230	0.8185
Number of <i>E. edulis</i> at 3 m radius*	1.13464	0.54837	2.069	0.0385
Number of <i>M. nervosa</i> bushes at 3m radius*	2.36094	0.93012	2.538	0.0111
Number of <i>C. phalerata</i> at 3 m radius	0.03233	0.37335	0.087	0.9310

\*Variables significantly correlated to nest presence.

### 3.5. Discussion

Our data revealed that Helmeted Manakin females selected multiple independent habitat parameters for nest-site choice. The strong association between the availability of *M. nervosa* bushes and nest presence suggested that these plants were not evenly distributed throughout the gallery forest, and that they were searched by Helmeted Manakins for nest construction. For the congener Araripe Manakin, *A. bokermanni*, twenty-two plant species were identified as nest support, in a humid forest formation surrounded by the xeric Caatinga biome from Ceará state, northeastern Brazil, being *Psychotria colorata* (Rubiaceae), *Hirtella glandulosa* (Chrysobalanaceae), and *Henriettea succosa* (Melastomataceae) the most frequently used ones (LINHARES et al., 2010; GAIOTTI et al., 2019). Although species of *Miconia* also have been reported as nest support in the above study, they were little used. Four plant species were identified as nest support for another Helmeted Manakin population from an ecotone between Cerrado and Atlantic Forest from Minas Gerais state, southeastern Brazil, but the use of *Miconia* was not reported (MARÇAL; LOPES, 2019b). As comparative analyses between nest- and random-sites were not performed in these previous works, we are unaware if miconias were less used by the Araripe Manakin and by the other studied population of the Helmeted Manakin because they were less abundant in the study areas or if selection for this

type of plant is a specific characteristic of the population we studied. Potential explanations for the choice of *M. nervosa* as nest supporting plant are the abundance of horizontal forks with slight branches that are adequate for nest construction, and the increased nest cover provided by the large leaves of this plant (see Results). Of the plant species used as nest support in our study area, *M. nervosa* is among those with the biggest leaves (personal observation), which theoretically could provide increased protection against visually-oriented predators coming from above, and also against rain, which should be tested in future works. Furthermore, fruits of *Miconia* spp. are often consumed by Helmeted Manakins (MARINI, 1992b), and ripening of the fruits of *M. nervosa* occurs from April to December (REZENDE et al., 2014, MÜLLER et al., 2017), overlapping the Helmeted Manakin breeding season. Then, we also do not discard the possibility that proximity to food supply could be another explanation for the choice of *M. nervosa* bushes for nest construction.

Comparisons between nest- and random sites based on 12 vegetation parameters were performed for two manakin species from lowland forests of Ecuador, Blue-crowned, *Lepidothrix coronata*, and Wire-tailed Manakins, *Pipra filicauda* (HIDALGO et al., 2012). Although Discriminant Analyses revealed that these species have diverged in nest-site characteristics, and both have selected non-random sites for nest construction, the parameters that led to the divergences were not exploited and specified. For the Blue Manakin, *Chiroxiphia caudata*, females selected stream borders for nest construction and they chose nesting branches with increased vegetation density in a well-preserved Atlantic Forest area from southeastern Brazil (PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2020). None of these parameters were significant in our studied population of the Helmeted Manakin, corroborating the findings of Hidalgo et al. (2012) that manakin species can diverge in the selected nest-site characteristics. For the Blue Manakin, nest construction near water was associated to the Aquaphobic Nest Predator Hypothesis that nesting near water provides protection against predators that are reluctant to swim (PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2020). Our findings, however, suggest that this strategy may not be present in our study population, which could be explained by divergences in nest predator types from different areas, or because the stream from our study area was too small to provide antipredatory protection (see PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2020; 2021).

Helmeted Manakins can often be seen foraging in forest borders or leaving the forested areas to feed on fruits from the opener Cerrado vegetation (FERREIRA; CAVALCANTI, 2005; MOTTA-JUNIOR, 1990), but our findings demonstrated that they select the most shadowed portions of the gallery forests when it regards to nesting sites.

The positive correlation between canopy cover and nest presence probability

suggested that female Helmeted Manakins avoided the natural forest gaps present in the study area, meaning that they also could avoid gaps created by logging in managed areas, for instance. Light intensity is known to affect the risks of nest predation by visually-oriented predators (PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2020; REIDY, 2009), and for the Blue Manakin, canopy cover was positively correlated to nest daily survival rate (PERRELLA; ZIMA; FRANCISCO, 2020). However, differently from the Helmeted Manakin, the Blue Manakin did not select nest sites with greater canopy cover. For the Helmeted Manakin, we confirmed the identity of at least two diurnal and visually-oriented nest predators with the use of camera traps, the Plush-crested Jay *Cyanocorax chrysops*, and the Black-fronted titi *Callicebus nigrifrons* (unpublished data), suggesting that the search for less illuminated areas can be an anti-predatory strategy.

The avoidance of clearings for nest site choice, and the selection for a plant species typical of humid forest understory as nest support, *M. nervosa*, revealed a significant level of selection for humid and shaded areas for nest construction. Although jussara palm trees were not used for nest construction, the positive correlation between the presence of this plant and the probability of nest occurrence may be because jussara trees are also associated to mature and well-preserved tracts of gallery forests, as it is one of the most vulnerable plants to illegal logging in Brazil (GALETTI; FERNANDEZ, 1998).

The Helmeted Manakin was also proved to reproduce in atypical habitats, i.e. in a secondary semideciduous Atlantic Forest fragment where *Miconia* spp., and *Euterpe edulis* were absent (MARÇAL; LOPES, 2019). Although it can suggest a certain level of reproductive plasticity, we are unaware of whether there could be nest survival costs associated to nesting in disturbed habitats.

Gallery forests are naturally narrow stripes of riparian vegetation from the Cerrado domain, and here we demonstrated that even in these linear habitats, the Helmeted Manakin can seek for specific portions for nesting. The Cerrado biome is one of the most threatened on the planet (COLLI et al., 2020), and future researches must address how the absence of areas in good conditions can affect the nest-site selection and reproductive success of the Helmeted Manakin and of other gallery forest species, many of which endangered, revealing to decision-makers the importance of preserving forest tracts along the streams of this biome.

### **3.6. Acknowledgments**

We are grateful to Lahert Lobo-Araújo, Abraão B. Leite and Cassiano B. Martins for field assistance, to Lucas D. Sanglade for identification of most of the plant species, and also

to Daiane C. Carreira for the help with the graphic construction. We are also especially grateful to Leonardo E. Lopes, Carla S. Fontana, and Augusto J. Piratelli for important suggestion on the early versions of this manuscript. Dáfini L. Bruno received a fellowship from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Proc#131897/2019-5), and Mercival R. Francisco receives a productivity research fellowship from CNPq (Proc# 308702/2019-0). We are also grateful to Sisbio/MMA (Proc. #66157-4) for authorizing field work, and to the Ethic Committee on Animal Use of the Federal University of São Carlos (CEUA/UFSCAR) (Proc. #1405291118) for authorizing the research and for approving the methods.

### 3.7. References

- 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, p. 711–728, 2013.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, v. 67, n.1, p. 1–48, 2015.
- BISSON, I. A.; FERRER, M.; BIRD, D. M. Factors influencing nest-site selection by Spanish Imperial Eagles. *Journal of Field Ornithology*, v. 73, n. 3, p. 298–302, 2002.
- BLOCK, W. M.; BRENNAN, L. A. The habitat concept in Ornithology: Theory and applications. *Current Ornithology*, v. 11, n. 781, p. 35–91, 1993.
- BURHANS, D. E.; THOMPSON, F. R. Effects of time and nest-site characteristics on concealment of songbird nests. *The Condor*, v.100, p. 633–672, 1998.
- CASTELLO, A. C. D.; COELHO, S.; CARDOSO-LEITE, E. Lianas, tree ferns and understory species: indicators of conservation status in the Brazilian Atlantic Rainforest remnants, southeastern Brazil. *Brazilian journal of Biology*, v. 77, n. 2, p. 213 – 226, 2017.
- CHALFOUN, A. D.; MARTIN, T. E. Habitat structure mediates predation risk for sedentary prey: Experimental tests of alternative hypotheses. *Journal of Animal Ecology*, v. 78, n. 3, p. 497–503, 2009.
- COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity and Conservation*, v.29, p. 1465–1475, 2020.
- DUQUETTE, C. A.; HOVICK, T. J.; LIMB, R. F.; MCGRANAHAN, D. A.; SEDEVIC, K. K. Restored fire and grazing regimes influence nest selection and survival in

Brewer's Blackbirds *Euphagus cyanocephalus*. *Acta Ornithologica*, v.54, p. 171–180, 2019.

DUVAL, E. H. Cooperative display and lekking behavior of the Lance-tailed Manakin (*Chiroxiphia lanceolata*). *Auk*, v. 124, p. 1168–1185, 2007.

ELLISON, A. M.; DENSLOW, J. S.; LOISELLE, B. A.; BRENÉS, D. Seed and seedling ecology of neotropical Melastomatacea. *Ecology*, v. 74, p. 1733 – 1749, 1993.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. 2018. Satélites de monitoramento.

<http://www.cppse.embrapa.br/meteorologia/index.php?pg=caracterizacao&gt;>.

FERREIRA, A. A.; CAVALCANTI, R. B. Abundância e uso do habitat em florestas de galeria por *Antilophia galeata* Lichtenstein, 1823 (Aves, Pipridae). *Revista de Biologia Neotropical*, v. 2, p. 37–41, 2005.

FOSTER M. S. Cooperative behavior and social organization of the Swallow-tailed Manakin (*Chiroxiphia caudata*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 9, p.167–177, 1981.

FOSTER M. S. Social organization and behavior of the Swallow-tailed Manakin, *Chiroxiphia caudata*. *National Geographic Society Research Reports*, v. 18, p.313–320, 1985.

FRANCISCO, M. R.; GIBBS, H. L.; GALETTI JR, P. M. Patterns of individual relatedness at Blue Manakin (*Chiroxiphia caudata*) leks. *Auk*, v. 126, p. 47–53, 2009.

GAIOTTI, M. G.; WEBSTER, M. S.; MACEDO, R. H. An atypical mating system in a neotropical manakin. *Royal Society Open Science*, v. 7, p. 1– 10, 2019.

GALETTI, M.; FERNANDEZ, J. C. Palm heart harvesting in the Brazilian Atlantic forest: changes in industry structure and the illegal trade. *Journal of Applied Ecology*, v. 35, p. 294–301, 1998.

GOLDENBERG, R. *Miconia Ruiz & Pav.* In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G. J.; MELHEM, T. S.; GIULIETTI, A. M.; MARTINS, S. E. (eds.). *Flora fanerogâmica do Estado de São Paulo*. Instituto de Botânica, São Paulo: v. 6, p. 73-103, 2009.

HA, R. R. et al. Nest site selection and consequences for reproductive success of the endangered mariana crow (*Corvus kubaryi*). *The Wilson Journal of Ornithology*, v. 123, n. 2, p. 236–242, 2011.

HIDALGO, J. R.; BLAKE, J. G.; LOISELLE, B. A.; RYDER, T. B.; DURÃES, R.; TORI, W. P. Nest site selection by Blue-Crowned (*Lepidothrix coronate*) and Wire-Tailed (*Pipra filicauda*) manakins in lowland Ecuador. *Ornitologia Neotropical*, v. 23, p. 63–71, 2012.

HOLWAY, D. Nest-site selection and the importance of nest concealment in the

black-throated Blue Warbler. *The condor*, v. 93, p. 575–581, 1991.

IUCN - International Union for Conservation of Nature. 2020. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org).

JENKINS, C. N.; PIMM, S. L.; JOPPAC, L. N. Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *PNAS*, v. 110, p. 2602–2610, 2013.

JONES, J. Habitat Selection Studies in Avian Ecology: a critical review. *Auk*, v. 118, p. 557–562, 2001.

KAASIKU, T.; RANNAP, R.; KAART, T. Managing coastal grasslands for an endangered wader species can give positive results only when expanding the area of open landscape. *Journal for Nature Conservation*, v. 48, p. 12–19, 2019.

KILGO, J. C.; SARGENT, R. A.; CHAMPMAN, B. R.; MILLER, K. Nest-site selection by hooded warblers in bottomland hardwoods of South Carolina. *Wilson Bull.*, v. 108, p. 53–60, 1996.

KIRWAN, G. M.; GREEN, G. (eds). *Cotingas and manakins*. Christopher Helm, London, 2011.

LEMMON, P. E. A new instrument for measuring forest overstorey density. *J. Forest*, v. 55, p. 667–669, 1957.

LINHARES, K. V.; SOARES, F. A.; MACHADO, I. C. S. Nest support plants of the Araripe Manakin *Antilophia bokermanni*, a critically endangered endemic bird from Ceara, Brazil. *Cotinga*, v. 32, p. 121–125, 2010.

LOISELLE, B. A.; RYDER, T. B.; DURÃES, R.; TORI, W.; LAKE, J. G. B.; PARKER, P. G. Kin selection does not explain male aggregation at leks of 4 manakin species. *Behavioral Ecology*, v. 18, p. 287–291, 2007.

LOPES, D. C. et al. Nest-site characteristics and aspects of the breeding biology of the endangered Timneh Parrot *Psittacus timneh* in Guinea-Bissau. *Ostrich*, v. 89, n. 1, p. 33–40, 2018.

MARÇAL, B. F.; LOPES, L. E. Non-monogamous mating system and evidence of lekking behaviour in the Helmeted Manakin (Aves: Pipridae). *Journal of Natural History*, v. 53, p. 2479–2488, 2019a.

MARÇAL, B. F.; LOPES, L. E. Breeding biology of the helmeted manakin *Antilophia galeata* in an ecotone between the atlantic forest and the cerrado. *Revista Brasileira de Ornitologia*, v. 27, n. 1, p. 1–9, 2019b.

MARINI, M. A. Notes on the breeding and reproductive biology of the Helmeted Manakin. *The Wilson Bulletin*, v. 104, p. 173–178, 1992a.



- MARINI, M. A. Foraging behavior and diet of the Helmeted Manakin. *The Condor*, v. 94, p. 151–158, 1992b.
- MARINI, M. A.; CAVALCANTI, R. Mating system of the Helmeted Manakin (*Antilophia galeata*) in Central Brazil. *Auk*, v. 109, p. 911–913, 1997.
- MARINI, M. A. et al. Novos registros de ninhos e ovos de três espécies de aves do Brasil Central. *Ararajuba*, v. 5, n. 2, p. 244–245, 1997.
- MARTIN T. E. On the advantage of being different: Nest predation and the coexistence of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 88, p. 2196–2199, 1988.
- MARTIN, T. E. Nest Predation and nest sites: new perspectives on old patterns. *BioScience*, v. 43, n. 8, p. 523–532, 1993.
- MARTIN, T. E.; GEUPEL, G. R. Nest–monitoring plots: methods for locating nests and monitoring success. *Journal of field Ornithology*, v. 64, p.507–519, 1993.
- MARTIN, T. E.; ROPER, J. J. Nest predation and nest-site selection of a western population of the hermit thrush. *The Condor*, v. 90, n. 1, p. 51–57, 1988.
- MCDONALD, D. B. Correlates of male mating success in a lekking bird with male male cooperation. *Animal Behaviour*, v. 37, p. 1007–1022, 1989.
- MEDEIROS, H. R., TOREZAN, J. M. Evaluating the ecological integrity pf Atlantic forest remnants by using rapis ecological assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 185, n. 5, p. 4373 – 4382, 2012.
- MEZQUIDA, E. T. Nest site selection and nesting success of five species of passerines in a South American open *Prosopis* woodland. *Journal of Ornithology*, v. 145, n. 1, p. 16–22, 2004.
- MOTTA-JUNIOR, J. C. Estrutura trófica e composição das avifaunas de três habitats na região Central do Estado de São Paulo. *Ararajuba*, v. 1, p. 65-71, 1990.
- MÜLLER, A. O.; GRESSLER, E.; FRANCO, A. A.; SILVA, I. V. The flowering and fruiting of *Miconia nervosa* in two forest sites in northern Mato Grosso, Brazil. *Revista Ciências Agroambientais*, v. 15, p. 205–217, 2017.
- MÜLLER, A. O.; FRANCO, A. A.; JUNIOR, N. G. R. et al. Estratégias adaptativas foliares de *Miconia nervosa* (Melastomataceae) na Amazônia Matogrossense. *Rodriguesia*, 2020.
- NORMENT, C. J. Nest-site characteristics and nest predation in Harris’ Sparrows and White–crowned sparrows in the Northwest territories, Canada. *Auk*, v. 110, p. 769–777, 1993.

NOSKE, R. A.; MULYANI, Y. A.; LLOYD, P. Nesting beside old nests, but Müller A. O., Gressler E., Franco A. A., Silva I. V. 2017. The flowering and fruiting of *Miconia nervosa* in two forest sites in northern Mato Grosso, Brazil. *Revista Ciências Agroambientais*, v. 15, p. 205–217.

PERRELLA, D. F.; ZIMA, P. V.; FRANCISCO, M. R. Nest site selection along forest-streams by two Neotropical passerines. *Acta Ornithologica*, v. 55, n. 2, 2020.

PERRELLA, D. F.; ZIMA, P. V.; FRANCISCO, M. R. Nest site selection and reproductive parameters of the threatened Atlantic Royal Flycatcher (*Onychorhynchus swainsoni*) and their significance for conservation. *Avian Research*, v. 12, p. 1–13, 2021.

POIRAZIDIS, K.; GOUTNER, V.; TSACHALIDIS, E.; KATI, V. Comparison of nest-site selection patterns of different sympatric raptor species as a tool for their conservation. *Animal Biodiversity and Conservation*, v. 30.2, p. 131–145, 2007.

QGIS Development Team, 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

R Development Core Team 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.

REIDY, J. L. Nest predators of Lance-tailed Manakins on Isla Boca Brava, Panama. *Journal of Field Ornithology*, v. 80, p. 115–118, 2009.

REZENDE, A. R.; ROMERO, R.; GOLDENBERG, R. Sinopsis of *Miconia* Section *Miconia* DC. (Melastomataceae) in the state of Minas Gerais, Brazil. *Bioscience Journal*, v. 30, p. 273–287, 2014.

SALIVA, J. E.; BURGER, J. Effect of experimental manipulation of vegetation density on nest-site selection in Sooty terns. *The Condor*, v. 91, p. 689–698, 1989.

SÃO PAULO. Decreto-lei no 60.133, de 7 de fevereiro de 2014. Diário oficial: Poder Executivo - Seção 1. São Paulo, 124 (27) – 25. Disponível Em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/172345>>.

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

SILVA, J. M. C. Endemic bird species and conservation in the Cerrado Region, South America. *Biodiversity and Conservation*, v. 6, p. 435 – 450, 1997.

SLÁDECECK, M.; KUBELKA, V.; MLÍKOVSKÝ.; SÁLEK, M. Coping with nest predation risk in a species-rich bird community inhabiting a Siberian wetland. *Folia zoologica*, v. 63, p. 256–268, 2014.

SNOW, D.; de JUANA, E. Helmeted Manakin (*Antilophia galeata*). In: DEL

HOYO, J.; ELLIOTT, A.; SARGATA, J.; CHRISTIE, D. A.; De JUANA, E. (eds). Birds of the World. Cornell Lab of Ornithology. 2020.

VON IHERING, H. Catálogo crítico-comparativo dos ninhos e ovos das aves do Brasil. *Journal of Chemical Information and Modeling*, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 1900.

ZIMA, P. V. Q.; PERRELLA, D. F.; BIAGOLINI-JR, C. H.; RIBEIRO-SILVA, L.; FRANCISCO, M. R. Breeding behavior of the Atlantic forest endemic Blue Manakin (*Chiroxiphia caudata*). *The Wilson Journal of Ornithology*, v. 129, p. 53–61, 2017.

ZIMA, P. V. Q.; PERRELLA, D. F.; FRANCISCO, M. R. The influence of egg presence and eggshell color in the attraction of visually oriented predators to nest of a tropical forest Bird. *Ibis*, p. 1–7, 2021.

### 3.8. APPENDIX 1

Values of Pearson correlation coefficients contrasted between nine environmental parameters measured in nest sites of the Helmeted Manakin, and at random sites.

	DHB $\leq$ 10	water	density	density above	DHB $>$ 10	ferns	palm heart	canopy cover	Miconias
DHB $\leq$ 10	1								
water	0.029	1							
density	0.052	0.076	1						
density above	0.25	0.21	0.47	1					
DHB $>$ 10	-0.15	-0.024	-0.26	-0.13	1				
ferns	0.025	-0.23	-0.1	-0.029	0.25	1			
palm heart	-0.15	-0.25	0.13	-0.076	0.11	-0.18	1		
canopy cover	0.043	-0.31	0.17	0.084	-0.036	-0.14	0.034	1	
Miconias	-0.1	-0.067	0.071	-0.15	-0.0016	-0.12	0.19	0.2	1

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fêmeas do soldadinho, *A. galeata*, demonstraram buscar e selecionar diferentes variáveis independentes do hábitat para definir os locais de construção dos ninhos. Dentre as variáveis selecionadas está o uso de *Miconia nervosa* como planta suporte, possivelmente em razão deste arbusto apresentar características morfológicas que poderiam conferir benefícios contra a predação de ninhos, proteção contra a chuva ou mesmo por oferecer recursos alimentares.

O soldadinho pode utilizar as áreas mais secas de Cerrado, bem como as bordas da floresta de galeria para outras atividades, como alimentação, entretanto nossos resultados demonstraram que em nossa área de estudo a espécie nidifica somente no interior da mata de galeria, em locais menos iluminados, úmidos e nos trechos melhor conservados. O presente estudo adiciona informações inéditas sobre a biologia reprodutiva de *A. galeata* e complementa as informações sobre a seleção dos parâmetros do ambiente por espécies Neotropicais, além de contribuir com o conhecimento reprodutivo de aves de ambientes florestais.

Futuros estudos permitirão avaliar se os parâmetros selecionados para escolha dos locais de nidificação podem variar entre os diferentes tipos de habitats de ocorrência da espécie e entre áreas com diferentes graus de deterioração da vegetação. Além disso, estudos envolvendo taxas comparativas de predação dos ninhos permitirão testar hipóteses sobre a adaptabilidade da seleção destes parâmetros e sobre como o sucesso reprodutivo poderá ser afetado pela ausência de áreas de florestas bem preservadas.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAL

AGUILAR, T. M. et al. Nest-site selection by Blue-black Grassquits in a Neotropical savanna: do choices influence nest success?. *Journal of Field Ornithology*, v. 79, n. 1, p. 24–31, 2008.

ALMEIDA, G. G.; SAMPAIO-E-SILVA, T. A.; SILVA-MATOS, D. M. Influence of the invasive grass *Urochloa decumbens* on nest-site selection by the brown booby *Sula leucogaster* on castilho island, Brazil. *Marine Ornithology*, v. 48, n. 1, p. 111–117, 2020.

BERNARDON, B.; DE NÓBREGA, P. F. A.; DE PINHO, J. B. Reproductive biology and nest-site selection of the Mato Grosso Antbird *Cercomacra melanaria* in the Brazilian Pantanal. *Revista Brasileira de Ornitologia*, v. 22, n. 3, p. 270–277, 2014.

BISSON, I. A.; FERRER, M.; BIRD, D. M. Factors influencing nest-site selection by Spanish Imperial Eagles. *Journal of Field Ornithology*, v. 73, n. 3, p. 298–302, 2002.

BLOCK, W. M.; BRENNAN, L. A. The habitat concept: theory and applications. *Current Ornithology*, v. 11, n. 781, p. 35–91, 1993.

BRAZILL-BOAST, J. et al. Selection of breeding habitat by the endangered Gouldian Finch (*Erythrura gouldiae*) at two spatial scales. *Emu*, v. 111, n. 4, p. 304–311, 2011.

BURGER, J.; GOCHFELD, M. Nesting behavior and nest site selection in monk parakeets (*Myiopsitta monachus*) in the Pantanal of Brazil. *Acta Ethologica*, v. 8, n. 1, p. 23–34, 2005.

COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity and Conservation*, v. 29, p. 1465–1475, 2020.

DIAS, R. I.; LIMA, M. R. Breeding biology and nest survival in Tropical Screech-Owls (*Megascops choliba*) in the Brazilian Cerrado. *The Wilson Journal of Ornithology*, v. 127, n. 3, p. 432–440, 2015.

DUQUETTE, C. A.; HOVICK, T. J.; LIMB, R. F.; MCGRANAHAN, D. A.; SEDEVIC, K. K. Restored fire and grazing regimes influence nest selection and survival in Brewer's Blackbirds *Euphagus cyanocephalus*. *Acta Ornithologica*, v. 54, p. 171–180, 2019.

HA, R. R. et al. Nest Site Selection and Consequences for Reproductive Success of the Endangered Mariana Crow (*Corvus kubaryi*). *The Wilson Journal of Ornithology*, v. 123, n. 2, p. 236–242, 2011.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume III - Aves. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. (Org.). Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Brasília: ICMBio, 709p. 2018.

JONES, J. Habitat Selection Studies in Avian Ecology: A Critical Review. *The Auk*, v. 118, n. 2, p. 557–562, 2001.

KAASIKU, T.; RANNAP, R.; KAART, T. Managing coastal grasslands for an endangered wader species can give positive results only when expanding the area of open landscape. *Journal for Nature Conservation*, v. 48, p. 12–19, 2019.

LOPES, D. C. et al. Nest-site characteristics and aspects of the breeding biology of the endangered Timneh Parrot *Psittacus timneh* in Guinea-Bissau. *Ostrich*, v. 89, n. 1, p. 33–40, 2018.

MARTIN, T. E. On the advantage of being different: Nest predation and the coexistence of bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 85, n. 7, p. 2196–2199, 1988.

MARTIN, T. E. Nest Predation and nest sites: new perspectives on old patterns. *BioScience*, v. 43, n. 8, p. 523–532, 1993.

MAXWELL, S. L. et al. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*, v. 536, n. 7615, p. 143–145, 2016.

MEIRELES, R. C. et al. Soil attributes drive nest-site selection by the campo miner *Geositta poeciloptera*. *Plos one*, v. 13, n. 1, p. 1–14, 2018.

NOSKE, R. A.; MULYANI, Y. A.; LLOYD, P. Nesting beside old nests, but not over water, increases current nest survival in a tropical mangrove-dwelling warbler. *Journal of Ornithology*, v. 154, n. 2, p. 517–523, 2013.

PERRELLA, D. F; ZIMA, P. V; FRANCISCO, M. R. Nest site selection along forest-streams by two Neotropical passerines. *Acta Ornithologica*, v. 55, n. 2, 2020.

PERRELLA, D. F; ZIMA, P. V; FRANCISCO, M. R. Nest site selection and reproductive parameters of the threatened Atlantic Royal Flycatcher (*Onychorhynchus swainsoni*) and their significance for conservation. *Avian Research*, v. 12, p. 1–13, 2021.

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. *Ornithology Research*, v. 23, n. 2, p. 91–298, 2015.

PICHORIM, M.; ROPER, J. J.; MONTEIRO FILHO, E. L. Experimental Study

of Nest-site Selection in the Biscutate Swift (*Streptoprocne biscutata*, Aves: Apodidae) in Southern Brazil. *Biotropica*, v. 41, n. 1, p. 81–84, 2009.

POIRAZIDIS, K.; GOUTNER, V.; TSACHALIDIS, E.; KATI, V. Comparison of nestsite selection patterns of diferent sympatric raptor species as a tool for their conservation. *Animal Biodiversity and Conservation*, v. 30.2, p. 131–145, 2007.

ROSONI, J. R. R.; KRUGEL, M. M.; FONTANA, C.; BEHR, E. R. Território reprodutivo do coleiro-do-brejo (*Sporophila collaris*) no sul do Brasil: Seleção e descrição de áreas de nidificação e alimentação. *Ornitologia Neotropical*, v. 30, p. 33–43, 2019.

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

SILVA, J. M. C. Endemic bird species and conservation in the Cerrado Region, South America. *Biodiversity and Conservation*, v. 6, p. 435 – 450, 1997.

XIAO, H. et al. How much do we know about the breeding biology of bird species in the world?. *Journal of Avian Biology*, v. 48, n. 4, p. 513–518, 2017.