



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Ciências Biológicas

Departamento de Genética, Ecologia e Evolução

Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

Luana Jéssica Ferreira

**Mudanças no uso e na cobertura do solo impulsionam a expansão geográfica da ave migratória *Sporophila lineola* na América do Sul**

Dissertação de Mestrado

Belo Horizonte

2022

Luana Jéssica Ferreira

**Mudanças no uso e na cobertura do solo impulsionam a expansão geográfica da ave migratória *Sporophila lineola* na América do Sul**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ribeiro de Castro Solar

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Esteves Lopes

Dissertação de Mestrado

Belo Horizonte

2022

043

Ferreira, Luana Jéssica.

Mudanças no uso e na cobertura do solo impulsionam a expansão geográfica da ave migratória *Sporophila lineola* na América do Sul [manuscrito] / Luana Jéssica Ferreira. – 2022.

49 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Ribeiro de Castro Solar. Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Esteves Lopes.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

1. Ecologia. 2. Aves. 3. Habitat. 4. Migração. I. Solar, Ricardo Ribeiro de Castro. II. Lopes, Leonardo Esteves. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 502.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE

### FOLHA DE APROVAÇÃO

"Mudanças no uso e na cobertura do solo impulsionam a expansão geográfica da ave migratória *Sporophila lineola* na América do Sul "

LUANA JÉSSICA FERREIRA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **29 de agosto de 2022**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

**Doutor(a) Pietro Kiyoshi Maruyama Mendonça**  
(UFMG)

**Doutor(a) Glaucia Del-Rio**  
(LOUISIANA STATE UNIVERSITY)

**Doutor(a) Ricardo Ribeiro de Castro Solar**  
(Presidente da Banca)

Belo Horizonte, 29 de agosto de 2022.

Assinaturas dos Membros da Banca



Documento assinado eletronicamente por **Pietro Kiyoshi Maruyama Mendonça, Professor do Magistério Superior**, em 01/09/2022, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Ribeiro de Castro Solar, Professor do Magistério Superior**, em 01/09/2022, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Glaucia Cristina Del Rio, Usuário Externo**, em 01/09/2022, às 12:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1721738** e o código CRC **2B3EA057**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE



**Ata da Defesa de Dissertação**

Nº 435

Entrada: 2020/1

**Luana Jéssica Ferreira**

No dia 29 de agosto de 2022, às 13:00 horas, por videoconferência, teve lugar a defesa de dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, de autoria do(a) mestrando(a) Luana Jéssica Ferreira, intitulada: “**Mudanças no uso e na cobertura do solo impulsionam a expansão geográfica da ave migratória *Sporophila lineola* na América do Sul**”. Abrindo a sessão, o(a) orientador(a) e Presidente da Comissão, Doutor(a) Ricardo Ribeiro de Castro Solar, após dar a conhecer aos presentes o teor das normas regulamentares do trabalho final, passou a palavra para o(a) candidato(a) para apresentação de seu trabalho. Estiveram presentes a Banca Examinadora composta pelos Doutores: Pietro Kiyoshi Maruyama Mendonça (UFMG), Gláucia Del-Rio (Louisiana State University) e demais convidados. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa do(a) candidato(a). Após a arguição, apenas os senhores examinadores permaneceram no recinto para avaliação e deliberação acerca do resultado final, sendo a decisão da banca pela:

- (X) Aprovação da dissertação, com eventuais correções mínimas e entrega de versão final pelo orientador diretamente à Secretaria do Programa, no prazo máximo de 30 dias;
- ( ) Reavaliação da dissertação com avaliação pelos membros da banca do documento revisado, sem nova defesa, no prazo máximo de 30 dias, sob possibilidade de reprovação;
- ( ) Reformulação da dissertação com indicação de nova defesa em data estabelecida a critério do Colegiado em observância às Normas Gerais da Pós-graduação na UFMG a ao Regimento do PPG-ECMVS;
- ( ) Reprovação

Nada mais havendo a tratar, o Presidente da Comissão encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 29 de agosto de 2022.

Assinaturas dos Membros da Banca Examinadora



Documento assinado eletronicamente por **Pietro Kiyoshi Maruyama Mendonça, Professor do Magistério Superior**, em 01/09/2022, às 10:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Ribeiro de Castro Solar, Professor do Magistério Superior**, em 01/09/2022, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gláucia Cristina Del Rio, Usuário Externo**, em 01/09/2022, às 12:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1721475** e o código CRC



## Dedicatória

Prezo insetos mais que aviões.  
Prezo a velocidade  
das tartarugas mais que a dos mísseis.  
Tenho em mim esse atraso de nascença.  
Eu fui aparelhado  
para gostar de passarinhos.  
Tenho abundância de ser feliz por isso.

(Manoel de Barros; trecho do poema “O apanhador de desperdícios”).

Dedico este escrito ao meu poeta preferido, Manoel de Barros,  
pelo olhar atento aos rios, árvores e bichos,  
e pela ternura e respeito a eles sempre dedicados.

Que eu nunca me perca de sua poesia.

## Agradeço

À minha mãe Pulqueria e ao meu pai Hugo (em memória), por todo o cerco de amor, inspirações botânicas e de vida, com que me criaram e que me conduziram até aqui.

À Ana, meu amor, minha companheira de vida. Obrigada pela poesia cotidiana que me fortalece.

Às minhas irmãs, Maria, Vilma, Valdete, Fabiana, Franciane e Kamilla, pelas conversas desaguadas em risadas e abraços.

Aos meus sobrinhos, Hugo, Lavínia, Reinaldo, Maria Fernanda e Milena, pelos momentos de carinho que me alegram os dias.

À Amparo, Li, Marcos, Salomé, Tininha e Vinícius, pelo carinho e cuidados constantes.

À Dalila, minha amiga querida, companheira de passarinhada. Obrigada por me apresentar o mundo das aves.

Ao Professor Leonardo Lopes, pela confiança, pelo apoio e por toda a dedicação ao nosso trabalho.

Ao Professor Ricardo Solar, pela acolhida, pelos conselhos e pelas dicas valiosas.

Ao Paulo Tavares, pela parceria na análise de dados.

Aos membros da banca, pela gentileza em aceitar o meu convite.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Obrigada por todos os ensinamentos.

Aos meus muitos amigos espalhados pelo mundo. Gratidão por todo o amor que depositam em mim.

Ao Bernardo Rudorff, pela gentileza em nos disponibilizar mapas que contam a história ambiental de São Paulo.

Ao Professor José Eugênio, pela receptividade.

À CAPES, por financiar esta e inúmeras outras pesquisas.

À UFMG e à UFV, por existirem.

Aos curadores e gerentes de coleções: Paul Sweet e Thomas Trombone (AMNH); Helder Araújo e Taís Costa (CAHZ); Geraldine Ramallo, Ada Echevarria, Sara Bertelli e Sebastián Aveldaño (COFML); Miguel Marini (COMB); Miguel Lentino (COP); Sérgio Althoff e Elisabete Rechenberg (CZFURB); Marcos Rodrigues (DZUFMG); Marcos Salcedo (EBRG); Mario Cohn-Haft (INPA); Steve Cardiff (LSUMZ); Glayson Bencke (MCN); Marcelo Vasconcelos (MCNA); Kathia Rivero (MHNNKM); Vicky Malave (MHNLS); Diego Montalti e Luciano Segura (MLP); Marcos Raposo, Jorge Nacinovic e Renata Stopiglia

(MNRJ); Maria de Fátima Lima (MPEG); Marcus Vinícius Barbosa e Eloisa de Sousa (MZJH); Rômulo Ribon (MZJMO); Luis Fábio Silveira (MZUSP); Manuel Schweizer (NHM); Mark Adams (NHMUK); Hans-Martin Berg (NHMW); Tannis Davidson e Lisa Randisi (UCL-GMZ); Vítor Piacentini e João Pinho (UFMT); Luciano Naka (UFPE) e Pascal Eckhoff (ZMB).

A todas as instituições e pessoas que disponibilizaram os seus registros por meio dos portais SpeciesLink e VertNet e por meio das plataformas de ciência cidadã WikiAves e eBird.

## Resumo

A homogeneização de habitats e as modificações da paisagem para uso antrópico do solo configuram algumas das principais ameaças à biodiversidade global. Essas mudanças podem alterar diretamente as características da paisagem, influenciando a ocorrência e a permanência das espécies em um dado local. Diversas espécies de aves associadas a terras agrícolas na Europa, os chamados “farmland birds”, estão sofrendo severos declínios populacionais desde a década de 1970, devido principalmente à perda de habitat impulsionada pela intensificação da agricultura. No entanto, ao contrário do que tem sido documentado para essas aves nas regiões temperadas, muitas aves associadas a áreas de agropecuária na América do Sul, espécies análogas aos “farmland birds” europeus, têm expandido suas áreas de distribuição nos últimos anos. A reconstrução do histórico de expansão dessas aves pode nos revelar aspectos ecológicos importantes para o entendimento da dinâmica de retração e expansão das populações de aves associadas a estes ambientes. Diante do exposto, pretendemos investigar a dinâmica temporal da distribuição geográfica de uma ave migratória tropical associada a ambientes antropizados: *Sporophila lineola*. Objetivamos investigar as hipóteses de que: i) *S. lineola* expandiu sua distribuição geográfica para as regiões sudeste e sul do Brasil durante os últimos 100 anos e ii) esta expansão foi impulsionada por mudanças no uso e cobertura do solo, com a espécie preferindo áreas antropizadas. Usamos dados da literatura, espécimes de museus e ciência cidadã para desvendar a área de distribuição da espécie. Além disso, usamos mapas históricos para acessar os dados sobre mudanças de cobertura e uso do solo. Nossos achados confirmam a hipótese de que *S. lineola* expandiu sua distribuição geográfica para o sudeste e sul do Brasil nos últimos 100 anos. Para o sudeste sua expansão iniciou a partir da década de 40, e sua expansão para o sul a partir da década de 90. Nossos resultados confirmam a hipótese de que a expansão de *S. lineola* está relacionada a mudanças no uso e cobertura do solo, sendo a ave encontrada geralmente em áreas antropizadas e não em áreas com sua fitofisionomia original, seja florestal ou savânica. A documentação desse processo nos permite relacionar a alteração dos habitats com sua ocupação exitosa por espécies oportunistas e nos fornece um alerta sobre como alterações antrópicas na paisagem podem desempenhar um papel determinante na dinâmica de ocupação das espécies. Enquanto algumas espécies se beneficiam de tais mudanças, outras são prejudicadas, o que pode ser influenciado não apenas pelo grau de interferência humana na paisagem, mas também pelo tempo de ocorrência dessas mudanças. A experiência europeia com os “farmland birds” tem muito a nos ensinar sobre como o histórico de mudanças na paisagem pode influenciar o status de conservação de uma espécie, lançando uma reflexão sobre como populações bem estabelecidas e pouco preocupantes em termos conservacionistas podem se tornar vulneráveis no futuro. É objetivo deste estudo debater (não determinar) qual será o status de conservação de *S. lineola* e outros “farmland birds” sul-americanos no futuro. Diante das dramáticas mudanças globais em curso, este estudo se revela um provocativo convite à reflexão de como essas alterações influenciarão os “farmland birds” sul-americanos.

Palavras-chave: distribuição geográfica; áreas antropizadas; *farmland birds*

## Abstract

The homogenization of habitats and landscape changes for anthropic land use are some of the main threats to global biodiversity. These changes can directly alter landscape characteristics, influencing the occurrence and permanence of species in a given location. Several species of birds associated with agricultural land in Europe, the so-called “farmland birds”, are experiencing severe population declines since the 1970s, mainly due to habitat loss driven by the intensification of agriculture. However, contrary to what has been documented for these birds in temperate regions, many birds associated with agricultural areas in South America, which are analogous to European farmland birds, have expanded their ranges in recent decades. The reconstruction of the expansion history of these birds can reveal important ecological aspects for understanding the dynamics of shrinkage and expansion of bird populations associated with these environments. Given the above, we investigated the temporal dynamics of the geographic distribution of a tropical migratory bird associated with anthropic environments: *Sporophila lineola*. We aim to investigate the hypotheses that: i) *S. lineola* expanded its geographic distribution to southeastern and southern regions of Brazil during the last 100 years and ii) this expansion was driven by changes in land use and land cover, with the species preferring anthropic habitats. We used data from the literature, museum specimens and citizen science to unravel the species range area. In addition, we used historical maps to access land cover and land use changes. Our findings confirm the hypothesis that *S. lineola* expanded its geographic distribution to southeastern and southern Brazil in the last 100 years. Towards the southeast, its expansion started in the 1940s, and its expansion to south in the 1990s. Our results also support the hypothesis that the expansion of *S. lineola* is related to changes in land use and land cover, being the species generally found in anthropic areas and not in natural areas, whether forests or savannas. The documentation of this process allows us to relate the alteration of habitats with their successful occupation by opportunistic species and provides us with an alert about how anthropic alterations in the landscape can play a decisive role in the dynamics of species occupation. While some species benefit from such changes, others are harmed, which can be influenced not only by the degree of human interference in the landscape, but also by the time of occurrence of these changes. The European experience with farmland birds has a lot to teach us about how the history of landscape changes can influence the conservation status of a species, launching a reflection on how well-established populations of little conservation concern can become vulnerable in the future. It is not the purpose of this study to determine what will be the conservation status of *S. lineola* and other South American farmland birds in the future, but just to debate it. Given the dramatic global changes underway, this study proves to be a provocative invitation to reflect on how these changes will influence South American farmland birds.

Keywords: geographic distribution; anthropized areas; farmland birds

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Marcos temporais de referência para a cobertura vegetal do estado de São Paulo e os respectivos registros de ocorrência utilizados para cada marco temporal.....22

Tabela 2: Marcos temporais de referência para a cobertura vegetal do estado de São Paulo e as respectivas legendas de uso e cobertura do solo. ....23

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Gráfico com o número de ocorrências de *Sporophila lineola* durante os últimos 220 anos na América do Sul, indicando as diferentes fontes de registros consultadas. ....25

Figura 2: Mapas dos registros de ocorrência de *Sporophila lineola* nas ecorregiões da América do Sul.....28-29

Figura 3: Mapas de calor indicando a densidade de registros de ocorrência para *Sporophila lineola* na América do Sul (vermelho: alta densidade/azul: baixa densidade).....30-31

Figura 4: Mapas dos registros de ocorrência de *Sicalis flaveola* nas ecorregiões do sudeste e sul do Brasil. ....32-33

Figura 5: Número de ocorrências de *Sporophila lineola* em cada marco temporal e as respectivas categorias de uso e cobertura do solo para o estado de São Paulo.....34-35

## **ANEXO**

ANEXO I: Padronização e descrição detalhada das categorias de uso e cobertura do solo para o estado de São Paulo.....48-49

## Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Métodos .....</b>	<b>15</b>
2.1 Espécie-modelo .....	15
2.2 Espécie-controle .....	15
2.3 Levantamento dos dados de ocorrência de <i>Sporophila lineola</i> .....	16
2.4 Levantamento de dados de ocorrência de <i>Sicalis flaveola</i> .....	18
2.5 Tabulação e georreferenciamento dos dados de ocorrência de <i>S. lineola</i> e <i>S. flaveola</i> ....	19
2.6 Consolidação do banco de dados de <i>S. lineola</i> e <i>S. flaveola</i> .....	19
<b>3. Análise de dados .....</b>	<b>20</b>
3.1 Análise visual da distribuição geográfica de <i>S. lineola</i> e <i>S. flaveola</i> no sudeste e sul do Brasil .....	20
3.2 Análise da influência das mudanças no uso e na cobertura do solo sobre a ocorrência de <i>S. lineola</i> no estado de São Paulo.....	21
3.3 Validação dos dados.....	23
<b>4. Resultados .....</b>	<b>24</b>
4.1 Levantamento de dados de ocorrência de <i>S. lineola</i> na América do Sul .....	24
4.2 Distribuição geográfica de <i>S. lineola</i> na América do Sul e sua expansão para o sudeste e sul do Brasil.....	25
4.3 Distribuição geográfica de <i>S. flaveola</i> no sudeste e sul do Brasil.....	31
4.4 Ocorrência de <i>S. lineola</i> em São Paulo e sua relação com o histórico ambiental do estado.....	33
<b>5. Discussão .....</b>	<b>35</b>
<b>Referências .....</b>	<b>40</b>
<b>Anexo I .....</b>	<b>48</b>

## 1. Introdução

Os impactos gerados pelas atividades antrópicas têm causado graves mudanças globais, incluindo efeitos dramáticos sobre a biodiversidade (Chase et al., 2020). A homogeneização de habitats e as modificações da paisagem causadas pelas mudanças no uso e cobertura do solo configuram alguns dos principais impulsionadores (*drivers*) dessas mudanças (Butchart et al., 2010; He et al., 2019; Chase et al., 2020). Como resultado, observamos a perda de espécies especialistas (Devictor et al., 2008; Mouillot et al. 2011; Newbold et al., 2015), perda de funções e serviços ecossistêmicos (Foley et al., 2005), alterações na estrutura das comunidades e funcionamento dos ecossistemas (Mouillot et al. 2011) e mudanças na distribuição global das espécies (Bennett et al., 2006, Hickling et al., 2006; Parmesan, 2006). Algumas das consequências de tais impactos são a homogeneização genética das populações e a simplificação taxonômica e funcional das comunidades e ecossistemas, culminando na chamada homogeneização biótica (Solar et al. 2015). Neste fenômeno, espécies generalistas e com alta capacidade de dispersão se tornam predominantes sobre outras espécies, resultando em uma biota simplificada e de baixa diversidade (Olden et al., 2004).

O histórico de mudanças no uso e cobertura do solo pode ter muito a nos dizer sobre o conjunto de espécies que compõem a paisagem no espaço-tempo (Ernault et al., 2006; Tryjanowski et al., 2011), pois as respostas das espécies às mudanças na paisagem podem não ser imediatas (Bennett et al., 2006). Dessa maneira, a atual distribuição da biota pode refletir o histórico da paisagem até mais do que a sua própria estrutura atual (Bennett et al., 2006; Ernault et al., 2006). Por exemplo, na Europa, aves associadas a terras agrícolas, os chamados “farmland birds”, provavelmente experimentaram uma marcada expansão na sua distribuição geográfica em tempos históricos à medida que as paisagens florestais europeias foram sendo modificadas pelo avanço das terras agrícolas. Dessa maneira, os “farmland birds” expandiram suas distribuições devido à maior disponibilidade de habitats e à oferta de recursos proporcionados pelos ambientes modificados pela ação humana (Donald et al., 2002). Esta expansão, todavia, por ter ocorrido ao longo dos últimos séculos ou mesmo milênios, jamais foi documentada devidamente. De maneira inusitada, a partir da década de 70, essas mesmas espécies passaram a sofrer um declínio vertiginoso das suas populações, devido principalmente aos impactos negativos da intensificação da produção agrícola após os anos 1950. Isso porque a mecanização da agricultura e a consequente expansão das monoculturas resultaram em ambientes menos heterogêneos, levando à perda de habitat e à redução da disponibilidade de alimento para estas

aves (Donald et al., 2001; Tryjanowski et al., 2011; Foppen et al., 2017; Gregory et al., 2019; Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2021). Os habitats dos “farmland birds” também estão sendo perdidos à medida que terras agrícolas têm suas atividades interrompidas, resultando na regeneração das florestas (Wretenberg, et al., 2006; CBS et al., 2022). Atualmente, por causa dos severos declínios populacionais registrados, os “farmland birds” estão no centro das atenções de pesquisadores e governantes da Europa, que buscam, por meio de medidas conservacionistas e políticas públicas, atenuar a redução dessas populações (CBS et al., 2022).

Ao contrário dos declínios populacionais documentados em áreas temperadas para os “farmland birds” (Donald et al., 2001; Tryjanowski et al., 2011; Foppen et al., 2017; Gregory et al., 2019; Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2021), muitos “farmland birds” da América do Sul têm expandido suas áreas de distribuição nos últimos anos (Willis e Oniki, 1987; Alvarenga, 1990; Willis, 1991; Willis e Oniki 1993; Sick, 1997; Bucher e Ranvaud, 2006; Francisco, 2006; Straube et al., 2007; Silveira, 2013; Guilherme e Czaban, 2015; Ugarte, 2019, Ortúzar-Ferreira et al, 2022). Como essas expansões são um fenômeno recente ou mesmo em curso, a possibilidade de reconstituir o histórico dos eventos que levaram a elas pode gerar arcabouço para elucidar questões ecológicas relacionadas à expansão e retração de populações de aves associadas a estes ambientes.

Diante do exposto, pretendemos investigar a evolução temporal da distribuição geográfica de uma ave tropical associada a ambientes antropizados: *Sporophila lineola*. Trata-se de uma espécie amplamente distribuída pelas paisagens abertas da América do Sul (Ridgely e Tudor, 2009; Ferreira e Lopes, 2017), por onde diversos autores já sugeriram a expansão recente de sua área de distribuição geográfica (Pacheco et al., 1997a; Carrano et al., 2002; Bencke, 2010; Freile et al., 2013). Também pretendemos explorar quais fatores ecológicos podem ter impulsionado a expansão da distribuição da espécie. Assim sendo, o presente trabalho objetiva investigar as hipóteses de que: i) *S. lineola* expandiu sua distribuição geográfica para as regiões sudeste e sul do Brasil durante os últimos 100 anos, e de que ii) esta expansão foi impulsionada por mudanças no uso e na cobertura do solo, com a espécie preferindo áreas antropizadas.

Para a reconstrução do histórico de distribuição geográfica da espécie, partiremos de uma abordagem ampla contemplando toda a América do Sul, passando por uma abordagem focando nas regiões sudeste e sul do Brasil, até, por fim, uma abordagem restrita ao estado de São Paulo.

## 2. Métodos

### 2.1 Espécie-modelo

*Sporophila lineola*, popularmente chamada de bigodinho, é uma pequena ave tropical granívora, socialmente monogâmica e sexualmente dimórfica (Ridgely e Tudor, 2009; Ferreira e Lopes, 2017). Trata-se de uma espécie migratória que habita uma grande diversidade de ambientes abertos na América do Sul, incluindo áreas descaracterizadas pela atividade agropecuária (Sick, 1997; Ridgely e Tudor, 2009). Estudos recentes sugerem a existência de três núcleos reprodutivos de *S. lineola* na América do Sul, os quais podem corresponder a populações distintas: um na região da Caatinga no nordeste do Brasil, um na região do Cerrado e da Mata Atlântica no sudeste do Brasil, e um na região do Chaco no norte da Argentina e noroeste do Paraguai (Cunha, et al., 2022). Indivíduos destes três núcleos migram após o período reprodutivo para áreas ainda desconhecidas no norte da América do Sul, onde invernam (Cunha, et al., 2022). Existem evidências de que a população que se reproduz no sudeste do Brasil encontra-se em franco processo de expansão de sua distribuição geográfica em direção sul e leste (Pacheco et al., 1997a; Pacheco et al., 1997b; Carrano et al., 2002; Bencke, 2010).

### 2.2 Espécie-controle

A fim de controlar possíveis vieses de esforço amostral em relação à distribuição geográfica de *S. lineola* em tempos passados, utilizamos como espécie-controle *Sicalis flaveola*, popularmente conhecida como canário-da terra. Trata-se de uma espécie granívora e residente, de tamanho corporal similar ao de *S. lineola* e que compartilha habitats em comum, incluindo áreas antropizadas (Sick, 1997). Os dados de ocorrência da espécie *S. flaveola* foram utilizados para fins de investigação de eventuais lacunas amostrais, uma vez que a espécie é amplamente distribuída em toda a região sudeste e sul do Brasil (del Hoyo et al., 2011) e foi massivamente coletada por diversos naturalistas nestas mesmas regiões. Demonstrar a distribuição histórica de *S. flaveola*, espécie da mesma família e que compartilha similaridades morfológicas e ecológicas com *S. lineola*, permitirá entender as distribuições geográficas das duas espécies dentro de uma perspectiva temporal. Dessa maneira, será possível detectar eventuais lacunas amostrais históricas para *S. lineola* que possam gerar um viés na interpretação dos dados.

Atualmente são reconhecidas cinco subespécies de *S. flaveola*, sendo utilizadas como controle apenas as duas formas brasileiras com ocorrência no núcleo reprodutivo de *S. lineola* no sudeste do Brasil, sendo elas: *S. f. brasiliensis*, que ocorre no nordeste e sudeste do Brasil; e *S. f. pelzelni*, que ocorre no centro-oeste e sul do Brasil, além de Bolívia, Paraguai, Argentina

e Uruguai (del Hoyo et al., 2011).

### **2.3 Levantamento dos dados de ocorrência de *Sporophila lineola***

O levantamento dos dados de ocorrência de *S. lineola* foi realizado por meio de uma ampla revisão da literatura, consulta aos acervos de coleções ornitológicas e buscas em plataformas de ciência cidadã. Foram aceitas diferentes evidências da ocorrência da espécie em uma dada localidade, incluindo: observações de campo, registros sonoros, ninhos, ovos e espécimes coletados. Registros sem localidade e/ou data foram desconsiderados.

**Literatura.** A revisão da literatura abarcou: artigos científicos (incluindo periódicos locais nas mais diversas línguas), livros, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado e resumos de congresso. A inclusão dessas fontes da literatura cinza foi necessária para ampliar a abrangência dos registros, uma vez que muitos deles não estavam publicados em periódicos de ampla circulação.

Para a revisão da literatura foram utilizados dois motores de busca: o Google Acadêmico (<https://scholar.google.com>) e a Biodiversity Heritage Library (<https://www.biodiversitylibrary.org>). Este último motor de busca congrega materiais literários referentes à biodiversidade mundial, muitos dos quais não indexados pelos motores de busca tradicionais (Gwinn e Rinaldo, 2009). Também foram realizadas buscas manuais nas bibliotecas pessoais dos pesquisadores envolvidos neste trabalho, que guardam em seus acervos dezenas de livros sobre a avifauna da totalidade dos países neotropicais, incluindo todos os livros de resumos dos congressos brasileiros de ornitologia, bem como o periódico brasileiro “Atualidades Ornitológicas”, que não se encontra totalmente indexado em nenhuma das fontes consultadas. Sempre que uma referência de interesse foi localizada, procedeu-se à análise dos seus registros primários e, caso registros secundários fossem citados, recorreu-se às fontes originais da informação.

**Coleções ornitológicas.** Os dados de espécimes depositados em coleções ornitológicas foram consultados por meio de duas plataformas on-line que permitem a consulta ao acervo de dezenas de coleções zoológicas de todo o mundo: SpeciesLink (<http://www.splink.org.br>) e VertNet (<http://vertnet.org>). Segue a lista das instituições cujos registros de *S. lineola* puderam ser acessados: American Museum of Natural History, New York (AMNH); Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Philadelphia (ANSP); Borror Laboratory of Bioacoustics, Ohio State University, Columbus (BLB); California Academy of Sciences, San Francisco (CAS); Macaulay Library (CLO); Carnegie Museum of Natural History, Pittsburgh (CM); Canadian Museum of Nature, Ottawa (CMNAV); Cleveland Museum of Natural History, Cleveland

(CMNH); Delaware Museum of Natural History, Wilmington (DMNH); Field Museum of Natural History, Chicago (FMNH); Universidade Estadual de Campinas, Campinas (FNJV, ZUEC); Instituto Adolfo Lutz, São Paulo (IAL); Natural History Museum of Los Angeles County, Los Angeles (LACM); Louisiana Museum of Natural History, Baton Rouge (LSUMZ); Museu de Biologia Professor Mello Leitão, Santa Teresa (MBML); Pontifícia Universidade Católica, Rio Grande do Sul (MCP); Museum of Comparative Zoology, Cambridge (MCZ); Museu de História Natural Capão da Imbuia, Curitiba (MHNCI); Bell Museum of Natural History, Saint Paul (MMNH); University of California, Berkeley (MVZ); Lund Museum of Zoology, Helgonavägen (MZLU); Natural History Museum, London (NHMUK); Royal Ontario Museum, Toronto (ROM); Texas A&M University Biodiversity Research and Teaching Collections, College Station (TCWC); University of British Columbia Beaty Biodiversity Museum, Vancouver (UBCBBM); Florida Museum of Natural History, Gainesville (UF); University of Michigan Museum of Zoology, Ann Arbor (UMMZ); University Museum of Zoology Cambridge, Cambridge (UMZC); Smithsonian Institution National Museum of Natural History, Washington (USNM); Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Acre, Rio Branco (ZEE); Western Foundation of Vertebrate Zoology, Camarillo (WFVZ) e Yale Peabody Museum of Natural History, New Haven (YPM). Os dados do museu Naturalis Biodiversity Center, Leiden (RMNH), foram obtidos por meio de consulta ao site oficial da instituição (<http://www.naturalis.nl>).

Para os museus cujos dados não puderam ser obtidos de maneira on-line, ou cujos dados disponíveis on-line não continham todas as informações necessárias, foi redigido um e-mail ao curador ou técnico responsável pela coleção, solicitando a disponibilização dos dados referentes à espécie em estudo. Foram obtidas respostas das seguintes coleções ornitológicas: BRASIL: Coleção de Aves Heretiano Zenaide, Areia (CAHZ); Coleção Zoológica da Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau (CZFURB); Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus (INPA); Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (MCN); Museu de Zoologia José Hidasi, Universidade Estadual do Tocantins, Palmas (MZJH); Museu de Zoologia João Moojen de Oliveira, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MZJMO) e Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém (MPEG). ARGENTINA: Colección Ornitológica Fundación Miguel Lillo, San Miguel de Tucumán (COFML) e Museo de La Plata, La Plata (MLP). VENEZUELA: Colección Ornitológica William Phelps, Caracas (COP); Estación Biológica de Rancho Grande, Maracay (EBRG) e Museo de Historia Natural de La Salle, Caracas (MHNLS). BOLÍVIA: Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado, Santa Cruz de La Sierra (MHNNKM). EUA: American

Museum of Natural History, New York (AMNH), e Louisiana Museum of Natural History, Baton Rouge (LSUMZ). INGLATERRA: Natural History Museum, London (NHMUK), e Grant Museum of Zoology and Comparative Anatomy, London (UCL-GMZ). SUÍÇA: Naturhistorisches Museum, Bern (NHM). ÁUSTRIA: Naturhistorisches Museum, Wien (NHMW). ALEMANHA: Museum für Naturkunde, Berlin (ZMB).

Além das consultas on-line, foram visitadas pessoalmente as coleções das seguintes instituições (visitadas por Leonardo Lopes): BRASIL: Coleção Ornitológica Marcelo Bagno, Universidade de Brasília, Brasília (COMB); Centro de Coleções Taxonômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (DZUFMG); Museu de Ciências Naturais da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte (MCNA); Museu Nacional, Rio de Janeiro (MNRJ); Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, São Paulo (MZUSP), e Universidade Federal de Pernambuco, Recife (UFPE).

**Ciência cidadã.** Dados de ciência cidadã têm se destacado como importantes meios de divulgação de registros da biodiversidade (Turnhout et al., 2016). Em nossa pesquisa, foram utilizadas duas plataformas de ciência cidadã: eBird, que é o maior projeto de ciência cidadã sobre as aves do mundo (Sullivan et al., 2014), e WikiAves, que é a mais rica fonte de informações on-line sobre aves brasileiras (Schubert et al., 2019). Dados do eBird foram acessados através de ferramentas disponibilizadas pelo próprio website. Já o site WikiAves não oferece ferramentas para download em massa dos dados e por isso foi necessária sua extração por meio de um Web Scraper automatizado em linguagem Python (ver Lopes e Schunck, 2022).

## 2.4 Levantamento de dados de ocorrência de *Sicalis flaveola*

O levantamento dos dados de ocorrência de *S. flaveola* também foi realizado por meio da revisão da literatura, consulta aos acervos de coleções ornitológicas e consulta às plataformas de ciência cidadã eBird e WikiAves. A revisão da literatura e das coleções, porém, não foi tão exaustiva (ver abaixo), pois nosso interesse principal se restringia a dados históricos de ocorrência da espécie, principalmente aqueles que antecediam a década de 50, e apenas para o sudeste e sul do Brasil, que, é importante lembrar, abrigam apenas duas das cinco subespécies de *S. flaveola*. Nesse sentido, um levantamento de dados exaustivo retornaria um grande volume de informações sobre subespécies que não ocorrem na região ou período de interesse.

**Literatura.** A revisão da literatura foi restrita aos trabalhos de Sharpe (1888), Von Ihering (1898, 1900, 1902, 1907), Hellmayr (1938), Pinto (1944a, 1944b, 1952), e Sick e Pabst (1968). Estes catálogos sumarizam boa parte das fontes históricas de informação, incluindo dados da literatura cinzenta e das principais coleções zoológicas dos EUA e da Europa.

**Coleções ornitológicas.** Os dados de espécimes e ovos depositados em coleções ornitológicas foram consultados por meio das plataformas SpeciesLink e VertNet. Segue a lista de museus cujos dados foram acessados por meio dessas plataformas: AMNH; ANSP; Coleção de Aves da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo (CAVESUPF); CLO; CM; Cornell University Museum of Vertebrates, New York (CUMV); FMNH; FNJV; IAL; LACM; MBML; MCP; MCZ; MHNCI; MVZ; Ohio State University, Columbus (OSUM-OH); UMMZ; USNM; ZUEC e YPM. Os dados dos espécimes depositados no MPEG foram obtidos via solicitação à curadora.

Além das consultas on-line, foram visitadas pessoalmente as coleções das seguintes universidades brasileiras (Leonardo Lopes, comunicação pessoal): COMB; DZUFMG; MCNA; MZJMO; UFPE e Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT).

**Ciência cidadã.** Os dados de ciência cidadã foram obtidos por meio de acesso às plataformas eBird e WikiAves, seguindo os mesmos critérios e procedimentos adotados para *S. lineola*.

## **2.5 Tabulação e georreferenciamento dos dados de ocorrência de *S. lineola* e *S. flaveola***

Os dados obtidos foram tabulados em uma planilha eletrônica contendo os seguintes campos: Espécie, Nome original do táxon (para o caso de dúvidas taxonômicas), Localidade, Estado/Departamento, Longitude (graus decimais), Latitude (graus decimais), Elevação, Dia, Mês, Ano, Coleção ornitológica, tipo de registro [i.e., Arquivo sonoro, Espécime taxidermizado, Indivíduo capturado, Literatura], Habitat, Coletor/Observador e Observações. As localidades de registro foram georreferenciadas a partir das fontes originais ou das coordenadas geográficas apresentadas na série “Ornithological Gazetteers of the Neotropics” (Paynter, 1982, 1988, 1989, 1992, 1993, 1994, 1995, 1997; Stephens e Traylor, 1983, 1985; Paynter e Traylor, 1991) e seu suplemento brasileiro (Vanzolini, 1992). Para as localidades cujas coordenadas geográficas não se encontravam disponíveis, foram consultados o Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (<https://bdgex.eb.mil.br/bdgexapp>), o Global Gazetteer ([www.fallingrain.com/world](http://www.fallingrain.com/world)) e o Google Earth (<https://www.google.com.br/earth>).

## **2.6 Consolidação do banco de dados de *S. lineola* e *S. flaveola***

Após a tabulação inicial dos dados, fez-se uma checagem geral da planilha em busca de erros e informações duplicadas. Após corrigidos esses erros, tentou-se completar as informações faltantes relativas à data, localidade e coletor. Para isso foram cruzados dados da

literatura, especialmente da série “Ornithological Gazetteers of the Neotropics”, e de outros exemplares de museu, buscando por evidências (e.g. itinerário do coletor) que permitissem o preenchimento das lacunas de informação. Quando a fonte original do registro não especificava uma data precisa, mas sim um intervalo de tempo, a data média foi considerada. Quando foram identificadas duas datas potenciais para o registro, a data mais recente foi considerada.

Questões referentes à taxonomia também foram averiguadas, pois o status taxonômico dos membros do complexo *S. lineola* já foi motivo de intensos debates na literatura (Schauensee, 1952; Schwartz, 1975), devido principalmente à sua semelhança morfológica com *Sporophila bouvronides*, táxon com o qual compartilha extensa área de ocorrência no norte da América do Sul (del Hoyo et al., 2011). A controversa *S. bouvronides* foi durante muitas décadas considerada ora como sinônimo júnior (Pinto, 1944a), ora como subespécie de *S. lineola* (Paynter & Mayr 1970), ora como espécie independente (Hellmayr 1938). Toda as fontes referenciais modernas consideram ambas as formas como espécies independentes (Clements et al., 2021), sendo este o tratamento taxonômico aqui adotado.

Após o conjunto de checagens aqui relatado, foram excluídos do banco de dados os registros: 1) referentes a *S. bouvronides* ou cuja identidade não pôde ser verificada; 2) sem localidade especificada ou com localidade duvidosa; 3) sem pelo menos o ano de registro; 4) baseados em animais oriundos de tráfico e apreensão em cativeiro; e 5) oriundos de entrevistas. Tais exclusões são necessárias para evitar interpretações errôneas sobre a distribuição geográfica e temporal da espécie. Uma vez que *S. flaveola* é residente na América do Sul (del Hoyo et al., 2011), foram selecionados apenas os registros obtidos entre novembro e maio, período que coincide com os meses de ocorrência de *S. lineola*, no sudeste e sul do Brasil. Dessa forma, os dados se tornam comparáveis.

### 3. Análise de dados

#### 3.1 Análise visual da distribuição geográfica de *S. lineola* e *S. flaveola* no sudeste e sul do Brasil

A fim de investigar uma possível expansão geográfica de *S. lineola* para as regiões sudeste e sul do Brasil, foi gerado um mapa de calor da distribuição da espécie contendo os registros históricos de ocorrência (anos 1801–1900), sendo sucessivamente acrescentados a este conjunto de dados os registros obtidos em cada década posterior até o ano de 2021, gerando-se assim 13 mapas. Para este mapeamento foi utilizado o método de Autocorrelated Kernel Density

Estimator por meio da interface on-line do pacote R Continuous-time movement modelling (ctmm-web - <https://ctmm.shinyapps.io/ctmmweb/>) (Calabrese et al., 2021). Este método é amplamente utilizado para determinar a área de vida de indivíduos, permitindo também estimar a área geográfica em que a espécie se distribui (Fleming et al., 2015; Calabrese et al., 2016; Calabrese et al., 2021). Os parâmetros das análises foram ajustados automaticamente pelo programa, através do qual foi feita a visualização dos mapas de calor gerados.

Utilizamos o software QGis, versão 3.16.11, para mapear a distribuição geográfica da espécie em relação às ecorregiões da América do Sul, tendo como base o mapa de ecorregiões obtido por meio do site WWF (<https://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world>). Para os mapas de distribuição geográfica de *S. flaveola*, utilizamos os mesmos procedimentos adotados para *S. lineola*.

### **3.2 Análise da influência das mudanças no uso e na cobertura do solo sobre a ocorrência de *S. lineola* no estado de São Paulo**

Mapas históricos que retratam o uso e a cobertura do solo no Brasil são escassos e, na maioria das vezes, não se encontram disponíveis em formatos compatíveis com programas que utilizam Sistema de Informação Geográfica. Felizmente, o estado de São Paulo, região onde os primeiros registros de *S. lineola* para o sudeste do Brasil foram documentados, conta com os melhores mapas históricos de uso e cobertura do solo em todo o Brasil. Além disso, São Paulo conta com bom histórico de expedições naturalistas, as quais resultaram em uma boa cobertura amostral em tempos passados (Pinto 1944a, 1945, 1979). Todos estes fatores contribuíram para que as análises relacionadas à influência das mudanças no uso e na cobertura do solo sobre a ocorrência de *S. lineola* fossem focadas no estado de São Paulo.

Para isso, foram utilizados como principais marcos temporais: o mapa desenvolvido pelo Laboratório Geolab da Universidade de São Paulo, que retrata as estimativas de cobertura de vegetação nativa e a distribuição da agricultura para o estado no ano de 1920 (Tavares et al., 2021); o mapa do IBGE (1965) vetorizado pela empresa Agrosatélite, que retrata a cobertura de vegetação nativa de “Mata” e “Cerrado” para o estado; e os mapas de uso e cobertura do solo disponibilizados pela coleção 5.0 da plataforma MapBiomas (2020) (<https://www.mapbiomas.org>) para os anos de 1988, 1998, 2008 e 2018. A inexistência de um intervalo de tempo padronizado entre os marcos temporais se deve à escassez de mapas ambientais históricos para o estado de São Paulo. Sendo assim, os marcos temporais de 1920 e 1965 foram adotados por serem os únicos com mapas de uso e cobertura do solo disponíveis em formato SIG antes da década de 80. A partir da década de 80, com a maior disponibilidade

de mapas ofertados pela plataforma MapBiomias (2020), foram utilizados marcos temporais com períodos de tempo regulares de 10 anos. Assim sendo, os registros de ocorrência de *S. lineola* foram agrupados de acordo com os seguintes marcos temporais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Marcos temporais de referência para a cobertura vegetal do estado de São Paulo e os respectivos registros de ocorrência utilizados para cada marco temporal.

Referência de cobertura vegetal para o estado de São Paulo	Fonte	Anos de registros da espécie <i>S. lineola</i> para o estado de São Paulo
Mapa de 1920	Geolab, 2021	Registros de ocorrência $\leq$ a 1920
Mapa de 1965	IBGE, 1965	Registros de ocorrência de 1921 a 1965
Mapa de 1988	MapBiomias, 2020	Registros de ocorrência de 1966 a 1988
Mapa de 1998	MapBiomias, 2020	Registros de ocorrência de 1989 a 1998
Mapa de 2008	MapBiomias, 2020	Registros de ocorrência de 1999 a 2008
Mapa de 2018	MapBiomias, 2020	Registros de ocorrência de 2009 a 2021

Foi utilizado o software QGis, versão 3.16.11, para associar os registros de ocorrência de *S. lineola* ao bioma e fitofisionomia de acordo com o marco temporal utilizado. Os dados de biomas e fitofisionomias foram obtidos em repositórios públicos do IBGE (<https://www.portaldemapas.ibge.gov.br>) e do INPE (<http://www.dpi.inpe.br>), respectivamente. Cada registro de ocorrência correspondente aos mapas de cobertura vegetal para o estado de São Paulo (Tabela 1) teve seus dados de uso e cobertura do solo extraídos de acordo com a classificação mostrada na Tabela 2.

Primeiramente foi feita a intersecção entre os dados de ocorrência ( $n = 4.337$ ), os polígonos vetoriais, os dados de fitofisionomia e o mapa de 1920. Devido ao fato de as fontes possuírem recortes diferentes dos limites geométricos entre as bases de dados, as 36 ocorrências ( $\sim 0,8\%$  do total) sem intersecção entre os dados utilizados foram excluídas. Três (3) dos 4.301 pontos não intersectaram com as bases, por terem caído fora dos limites do mapa de 1920 ou em área de massa d'água, não presente no mapeamento de 1920.

Para as análises com o marco de 1965, todos os 4.298 pontos restantes intersectaram com a base de dados do mapa. Para os marcos de 1988, 1998, 2008 e 2018, foram utilizados *rasters* de uso do solo e a extração dos valores do pixel nos pontos de ocorrência de *S. lineola* ( $n = 4.298$ ), por meio da ferramenta *Point Sampling Tool* do QGis, versão 3.16.11. Novamente, os dados que caíram em massa d'água foram excluídos ( $n=113$ ). Desde a entrada dos dados de ocorrência ao longo de todo o processamento, computou-se uma redução total de 152 amostras, o equivalente a cerca de 3,5% do universo amostral inicial.

**Tabela 2.** Marcos temporais de referência para a cobertura vegetal do estado de São Paulo e as respectivas legendas de uso e cobertura do solo.

Referência de cobertura vegetal para o estado de São Paulo	Legenda (*)
Mapa de 1920 (Geolab, 2021)	VN: Vegetação nativa AA: Área antropizada
Mapa de 1965 (IBGE, 1965)	VF: Vegetação nativa florestal VS: Vegetação nativa savânica/campestre AA: Área antropizada
Mapas de 1988, 1998, 2008 e 2018 (MapBiomias, 2020)	VF: Vegetação nativa florestal (ID's: 3 e 5)** VSC: Vegetação nativa savânica/campestre (ID's: 4, 11, 12, 13 e 29) AA: Área antropizada (ID's: 9, 15, 20, 21, 24, 25, 30, 39 e 41)

\* Para maiores detalhes sobre as categorias de uso e cobertura do solo, ver Anexo I.

\*\* Para ID's MapBiomias, acessar <https://mapbiomas.org/codigos-de-legenda>.

### 3.3 Validação dos dados

A validação dos dados foi realizada com o intuito de verificar a semelhança entre a classificação de uso e cobertura do solo obtida no ponto exato da coordenada de registro da espécie e o tipo de uso e cobertura do solo predominante na matriz do entorno deste ponto. Isso porque, além das imprecisões de coordenadas inerentes ao processo de georreferenciamento, *S. lineola* rotineiramente forrageia em áreas além das bordas de seu território, transitando, portanto, por uma área considerável. Essa abordagem também nos permitiu verificar quais tipos de classificações de uso e cobertura do solo tiveram mais pontos que diferiram em relação à classificação da matriz.

Para a validação dos dados, consideramos a classificação de uso e cobertura do solo obtida no pixel do ponto de ocorrência da espécie (coordenada do registro) e a classificação de uso e cobertura do solo obtida na matriz do ponto de ocorrência, considerando como referência a área de forrageamento da espécie durante seu período reprodutivo, assumida aqui como apresentando 1 ha (Martins, et al. 2021). Para avaliar a concordância entre os dados de classificação obtidos no pixel do ponto de ocorrência (observado) e os dados de classificação obtidos na matriz do ponto de ocorrência (esperado), foi gerada uma Matriz de Confusão, por meio da qual o Coeficiente Kappa foi aplicado. O teste de Kappa pôde ser aplicado apenas no conjunto de dados referentes ao marco temporal de 2018 (Tabela 1), devido ao n amostral pequeno obtido para os marcos temporais anteriores.

Matriz de Confusão é uma ferramenta que realiza a tabulação cruzada entre dados de classificação (ou dados amostrados, observados etc.) e dados de referência (ou dados previstos, esperados etc.), sendo a concordância entre estes dados representada pela diagonal principal da Matriz de Confusão (Congalton e Green, 2009). Desta forma, os valores da diagonal principal da Matriz representam a classificação correta, enquanto os valores fora da diagonal principal constituem a classificação incorreta (Congalton e Green, 2009). Por meio da Matriz de Confusão, podem ser aplicadas várias análises estatísticas para avaliar a concordância dos dados, dentre elas o Coeficiente Kappa, amplamente utilizado em estudos de sensoriamento remoto (Couto, 2003; Congalton e Green, 2009).

O Coeficiente Kappa é um teste estatístico utilizado na avaliação de concordância entre conjuntos de dados conforme as classes de uma variável discreta (Couto, 2003; Congalton e Green, 2009). O resultado da aplicação de Kappa em um determinado conjunto de dados é a estatística KHAT (K), que mede o nível de concordância entre os dados observados e esperados (Cohen, 1960; Couto, 2003). O nível de concordância K é interpretado da seguinte maneira: valores entre 0,81 e 1,0 indicam concordância perfeita; valores entre 0,61 e 0,80 indicam concordância substancial; valores entre 0,41 e 0,60 indicam concordância moderada; valores entre 0,21 e 0,40 indicam concordância razoável; valores entre 0 e 0,20 indicam concordância mínima; e valores menores que 0 indicam que não existe concordância (Landis e Koch, 1977). O Coeficiente Kappa foi calculado utilizando o software ArcGIS 10.2.

Destacamos que a maioria dos dados obtidos para o marco temporal de 2018 (n=3.932, Tabela 1, Figura 1) foi oriunda das plataformas de ciência cidadã WikiAves e eBird. Sabemos que imprecisões de coordenadas geográficas existem em dados dessa natureza, no entanto é impossível detectá-las e corrigi-las. Sendo assim, ressaltamos esse fator como um possível viés para a análise de dados.

## **4. Resultados**

### **4.1 Levantamento de dados de ocorrência de *S. lineola* na América do Sul**

Foram reunidos 23.889 registros datados e georreferenciados para *S. lineola*. Entretanto, muitos desses registros são redundantes (i.e., mesma data e local). Com a exclusão desses registros redundantes, obtivemos um total de 18.288 ocorrências da espécie na América do Sul.

Os primeiros registros da espécie foram obtidos na primeira década do século XIX. Até meados do século XX, independentemente da região da América do Sul considerada, os registros disponíveis são em sua maioria provenientes de coleções ornitológicas. As duas

décadas finais do século XX são marcadas por um gradual aumento no número de registros obtidos por meio da literatura e também pelos primeiros registros provenientes das plataformas de ciência cidadã. A partir do século XXI, pôde-se observar um aumento no número de registros, especialmente devido à popularização das plataformas de ciência cidadã (Figura 1).

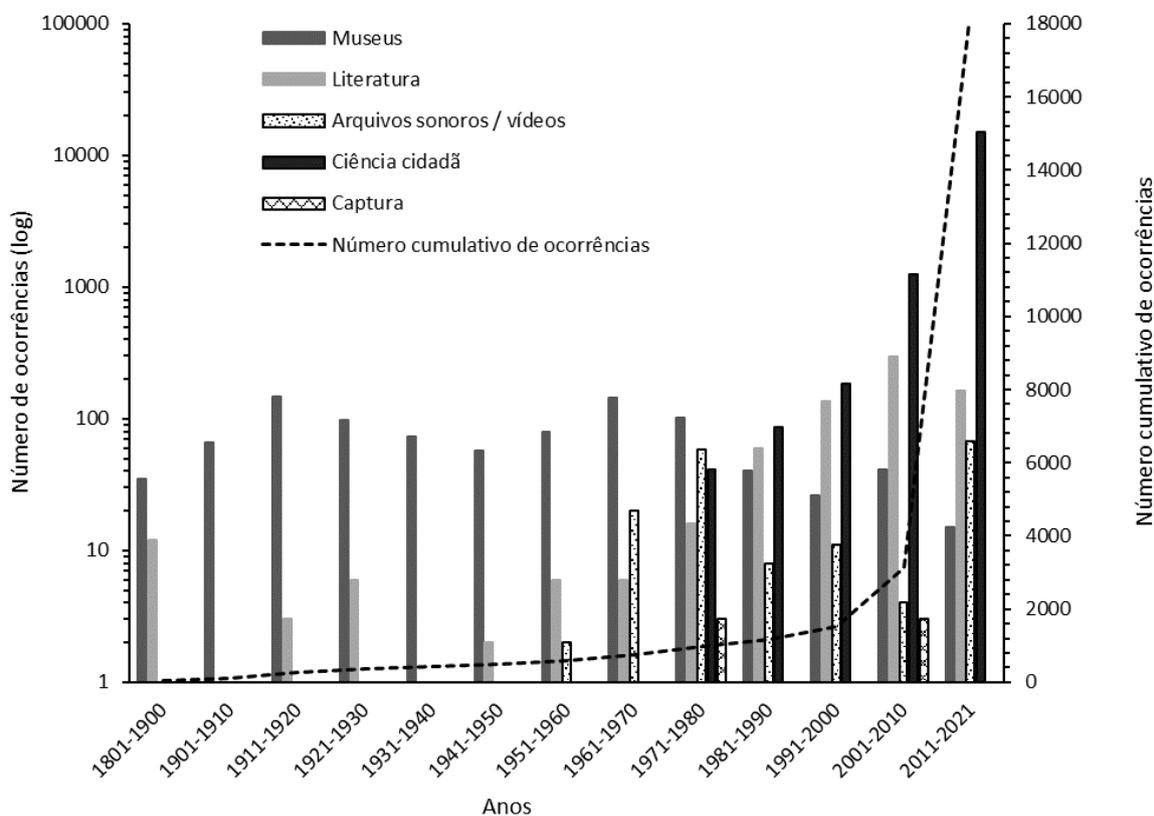


Figura 1. Número de ocorrências de *Sporophila lineola* (escala logarítmica) durante os últimos 220 anos na América do Sul, indicando as diferentes fontes de registros. O número cumulativo de ocorrências é representado em escala linear (eixo y direito) para melhor visualização do aumento no número de ocorrências nas últimas duas décadas.

#### 4.2 Distribuição geográfica de *S. lineola* na América do Sul e sua expansão para o sudeste e sul do Brasil

Os primeiros registros da espécie no século XIX estão concentrados no norte da América do Sul, incluindo registros para o norte do Brasil, Venezuela e Guianas. Estes registros cobrem diferentes tipos de ambientes, incluindo áreas de várzea na Amazônia, costa seca da Venezuela e savanas dos Llanos e das Guianas. Os demais registros se estendem ao Chaco boliviano, Yungas da Argentina e Bolívia, Florestas Secas de Chiquitano na Bolívia e Cerrado do oeste do Brasil. Ao longo de toda a faixa leste do Brasil, só foram localizados dois registros, um no nordeste e outro no sudeste do Brasil, ambos na zona de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado (Figura 2a). É apenas no final do século XIX que surge a primeira menção à espécie

para o sudeste do Brasil, na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo (von Ihering, 1898), aparentemente sem evidência documental, pois nenhum espécime desta mesma data e localidade foi encontrado.

A primeira década do século XX apresenta novos registros da espécie para o Chaco na Argentina, para a Caatinga no nordeste e para o Cerrado do sudeste e nordeste do Brasil (Figura 2b). O segundo registro da espécie para o sudeste do Brasil (o primeiro documentado) é finalmente obtido, tratando-se de um espécime coletado na cidade de Avanhandava, no estado de São Paulo (espécime MZUSP 4364), em 1903. Este espécime permaneceu como o único registro documentado da espécie para o sudeste do Brasil até o início da década de 40.

Até a década de 30, o panorama geral mostra um acúmulo de registros no norte da América do Sul (Amazônia), no nordeste do Brasil (Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica), nas Florestas secas de Chiquitano (Bolívia), na região das Yungas (na Argentina, Bolívia e Peru), e no Chaco (na Argentina e Paraguai) (Figura 2e).

Na década de 40 surgem novos registros para o sudeste do Brasil, no estado de São Paulo (Figura 2f). Trata-se de quatorze espécimes coletados por Lima em Monte Alegre do Sul (MZUSP), além de dois espécimes coletados por Olalla em Barra do Rio Dourado (MZUSP e FMNH). Após a década de 40, os registros da espécie no sudeste do Brasil passaram a ocorrer regularmente.

O cenário até a década de 70 mostra um grande número de registros no norte da América do Sul, nos Yungas, Chaco e nas regiões central, nordeste e sudeste do Brasil (Figura 2i). Para o sudeste brasileiro, além do estado de São Paulo, a espécie passa a ser documentada em Minas Gerais a partir da década de 50, sendo também registrada no estado do Rio de Janeiro a partir do final da década de 70.

É somente em meados da década de 80 que o primeiro registro de *S. lineola* para a região sul do Brasil foi documentado (Figura 2j), quando o canto da espécie foi gravado na Fazenda Tagaçaba, município de Guaraqueçaba, Paraná (FNJV-7259). Nesta mesma década, 58 ocorrências da espécie foram registradas para a região sudeste, nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, mais que o número total de registros obtidos para a região em quase um século (1890–1980,  $n = 57$ ). Por meio do mapa de calor, é possível visualizar pela primeira vez uma larga mancha de registros de ocorrência para o sudeste e um núcleo com maior densidade de registros no estado de São Paulo (Figura 3j).

A partir da década de 90, a espécie passou a ser registrada regularmente em todo o sudeste brasileiro. É nesta década também que ocorre um aumento no número de registros para a região sul do Brasil ( $n=16$ ), consolidando a expansão geográfica de *S. lineola* para esta região. Além

do estado do Paraná, a espécie passa a ser registrada no estado de Santa Catarina, com ocorrências obtidos nas cidades de Blumenau (n=1), Garuva (n=2), Pirabeiraba (n=1) e Ilhota (n=1) (Figura 2k). Para a região sudeste do Brasil, o mapa de calor mostra um núcleo com maior densidade de registros no entorno do estado de São Paulo. Além disso, o mapa apresenta uma mancha de registros centralizada no sudeste, mas que também abrange regiões limítrofes do Mato Grosso do Sul e norte do Paraná, estendendo-se pelo litoral até o território catarinense (Figura 3k).

A partir do século XXI, observa-se um aumento no número de registros de *S. lineola* na América do Sul. Esse aumento repentino se deve em grande parte à crescente popularização da observação de aves na região neotropical, principalmente na segunda década do século XXI, e à disponibilidade de plataformas de dados dessa natureza, como é o caso de eBird e WikiAves. A região sudeste do Brasil se destaca pelo alto percentual de registros provenientes dessas fontes de dados. Desde o início deste século até meados do ano de 2021, essas fontes contribuíram com 10.826 registros para o sudeste brasileiro, o que representa cerca de 97% do total de registros de *S. lineola* obtidos em todas as fontes consultadas durante o mesmo período para esta região.

É no início do século XXI que a espécie foi registrada pela primeira vez no estado do Rio Grande do Sul, na porção extremo-sul da Mata Atlântica, nas cidades de Maquiné (n=3) e Feliz (n=1) (Figura 2l). Dentro de um panorama geral, os registros de ocorrência para o sul vão se concentrar no noroeste do Paraná e na região de Misiones, na Argentina, bem como no litoral dos três estados sulinos brasileiros (Figura 2m). Também destacamos os primeiros registros para a região da Savana Mesopotâmica do Cone Sul e para os Pampas Úmidos na Argentina, para a Savana Uruguaia no extremo sul do Brasil, e um registro isolado para a Puna Seca Andina, no Chile (Figura 2m).

Para o século XXI, o mapa de calor mostra núcleos com maior densidade de registros localizados no norte da América do Sul, bem como nas três regiões anteriormente assinaladas como áreas reprodutivas, sudeste e nordeste do Brasil, norte da Argentina e noroeste do Paraguai (Figura 3m). Nota-se que, devido ao grande número de registros acumulados principalmente durante a segunda década deste século, a mancha de registros do sudeste (anteriormente melhor delimitada nos mapas de 1801–2000 e 1801–2010), com o passar dos anos, acaba se fundindo com manchas de registros existentes em outras regiões do mapa (Figura 3m).

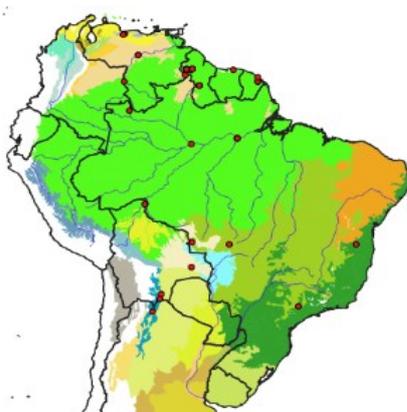


Figura 2a - 1801-1900

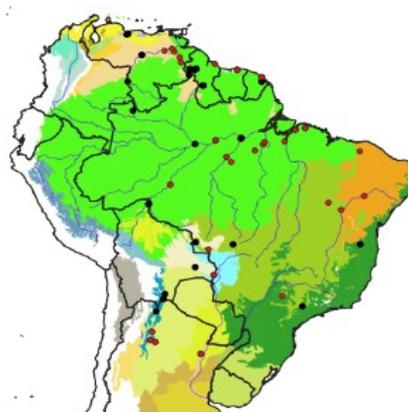


Figura 2b - 1901-1910

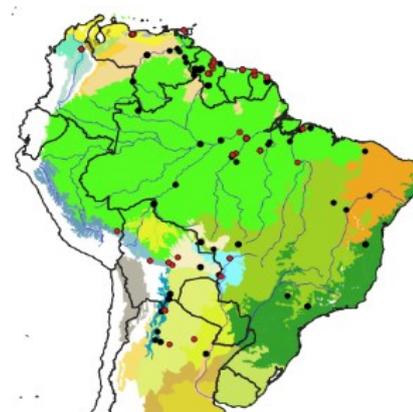


Figura 2c - 1911-1920

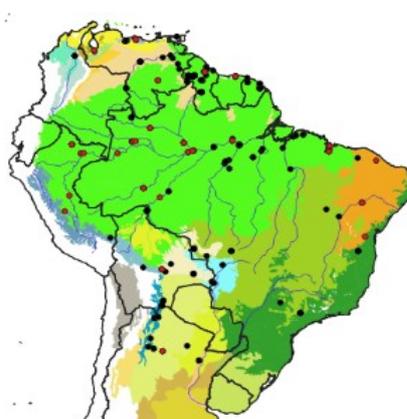


Figura 2d - 1921-1930

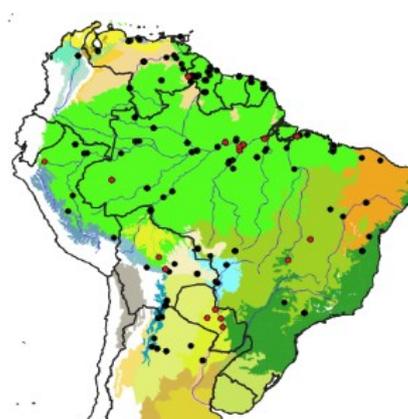


Figura 2e - 1931-1940



Figura 2f - 1941-1950

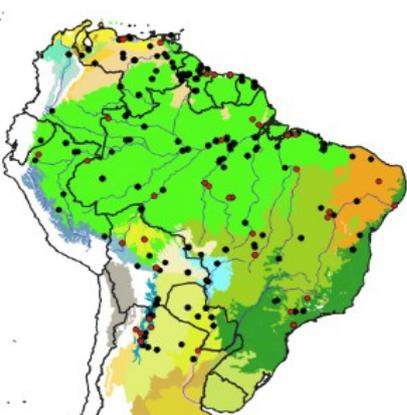


Figura 2g - 1951-1960

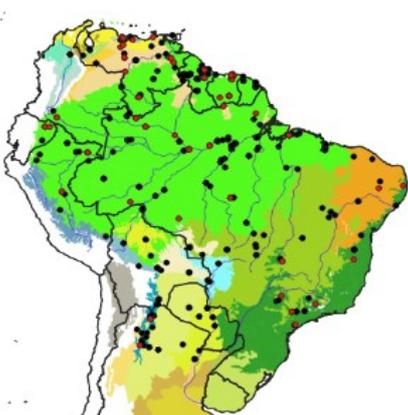


Figura 2h - 1961-1970

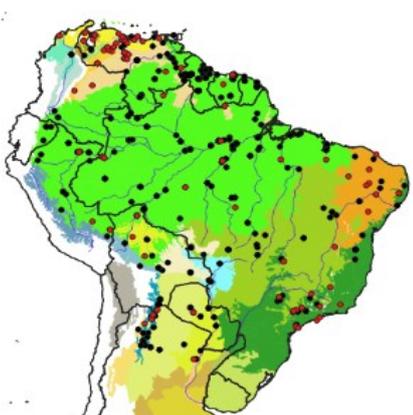


Figura 2i - 1971-1980

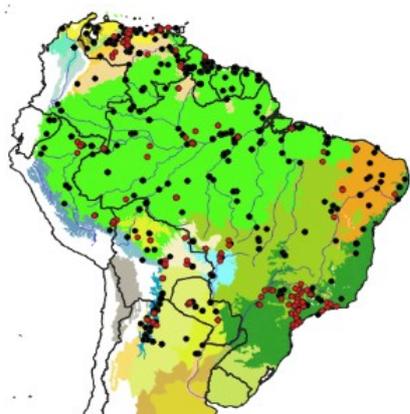


Figura 2j - 1981–1990

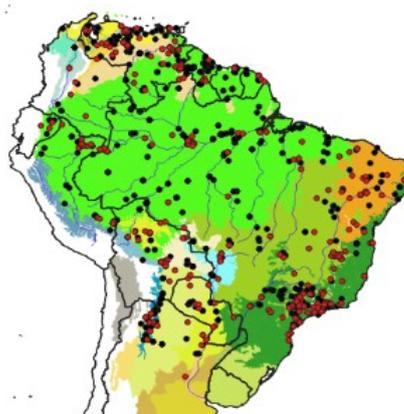


Figura 2k - 1991–2000

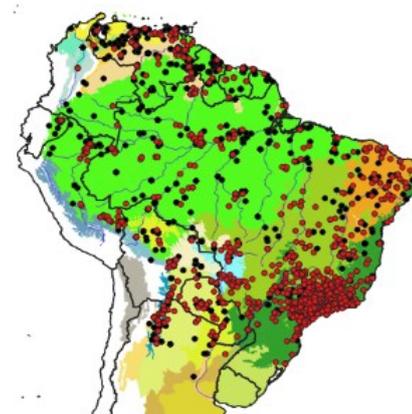


Figura 2l - 2001–2010

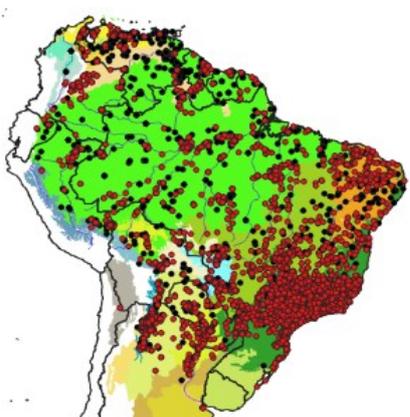


Figura 2m - 2011–2021

## Legenda

- |  |  |
|--|--|
| <span style="color: green;">■</span> Mata atlântica                                    | <span style="color: yellow;">■</span> Pampas húmidos                                     |
| <span style="color: lightgreen;">■</span> Amazônia                                     | <span style="color: orange;">■</span> Llanos / Savanna das Guianas                       |
| <span style="color: yellow;">■</span> Florestas secas de Apure-Villavicencio           | <span style="color: lightblue;">■</span> Florestas montanhosas do Vale Magdalena         |
| <span style="color: lightyellow;">■</span> Savana de Beni                              | <span style="color: cyan;">■</span> Florestas úmidas de Magdalena-Urabá                  |
| <span style="color: lightblue;">■</span> Yungas bolivianas                             | <span style="color: yellow;">■</span> Costa seca da Venezuela                            |
| <span style="color: orange;">■</span> Caatinga   | <span style="color: lightblue;">■</span> Pantanal  |
| <span style="color: brown;">■</span> Florestas úmidas de Catatumbo                     | <span style="color: orange;">■</span> Savana alagada do Paraná                           |
| <span style="color: grey;">■</span> Puna seca andina central                           | <span style="color: blue;">■</span> Yungas peruanas                                      |
| <span style="color: green;">■</span> Cerrado   | <span style="color: blue;">■</span> Yungas andinas do sul                                |
| <span style="color: lightyellow;">■</span> Florestas secas de Chiquitano               | <span style="color: blue;">■</span> Manguezais do Atlântico Sul                          |
| <span style="color: lightblue;">■</span> Florestas montanhosas da cordilheira da costa | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Savana mesopotâmica do cone sul               |
| <span style="color: yellow;">■</span> Chaco seco                                       | <span style="color: lightgreen;">■</span> Savana uruguiaia                               |
| <span style="color: orange;">■</span> Espinal  | <span style="color: lightgreen;">■</span> Florestas montanhosas dos andes venezuelanos   |
| <span style="color: yellow;">■</span> Monte alto                                       | <span style="color: red;">●</span> Registros durante o período indicado                  |
| <span style="color: yellow;">■</span> Chaco húmido                                     | <span style="color: black;">●</span> Acúmulo de registros durante os períodos anteriores |

Figura 2: Mapas dos registros de ocorrência de *Sporophila lineola* nas ecorregiões da América do Sul. Os intervalos dos anos correspondentes às datas dos registros são os que se seguem. 2a: 1801–1900 / 2b: 1901–1910 / 2c: 1911–1920 / 2d: 1921–1930 / 2e: 1931–1940 / 2f: 1941–1950 / 2g: 1951–1960 / 2h: 1961–1970 / 2i: 1971–1980 / 2j: 1981–1990 / 2k: 1991–2000 / 2l: 2001–2010 / 2m: 2011–2021.

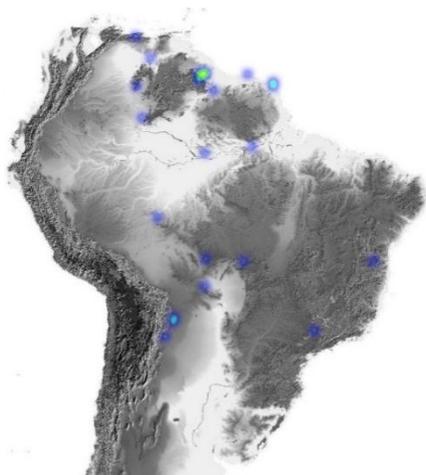


Figura 3a - 1801-1900

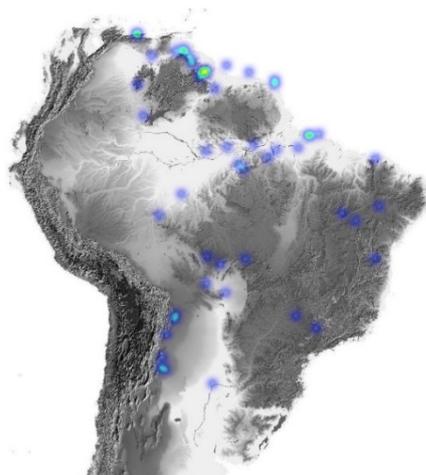


Figura 3b - 1801-1910

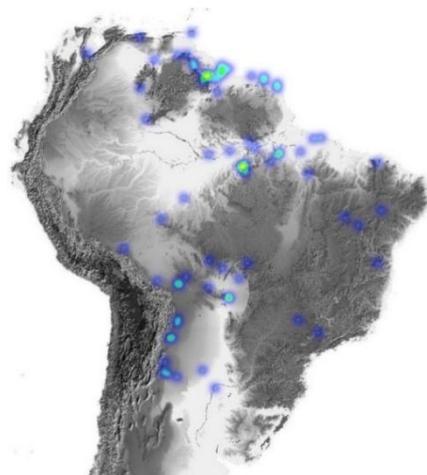


Figura 3c - 1801-1920

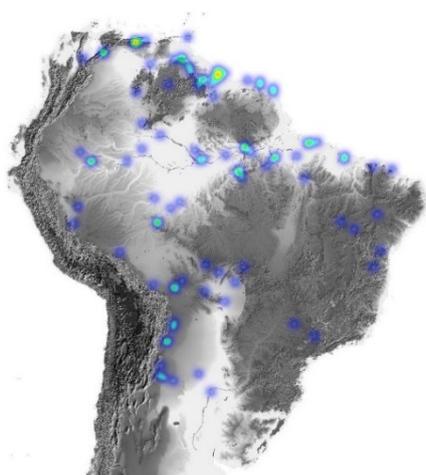


Figura 3d - 1801-1930

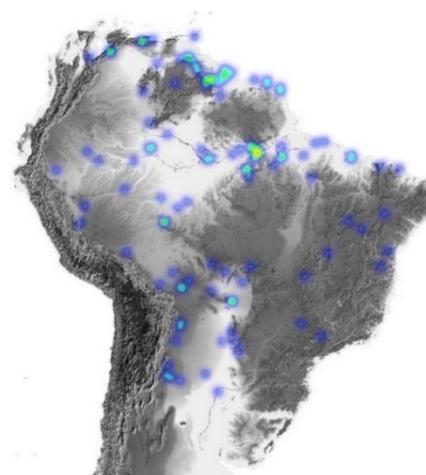


Figura 3e - 1801-1940

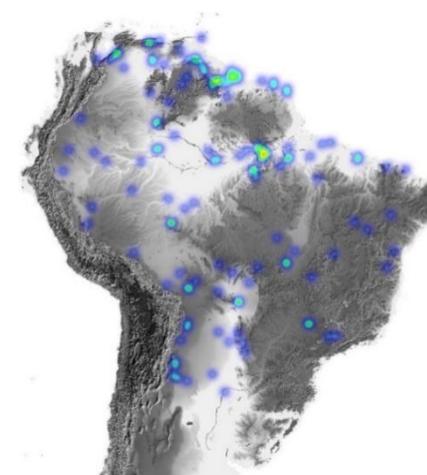


Figura 3f - 1801-1950

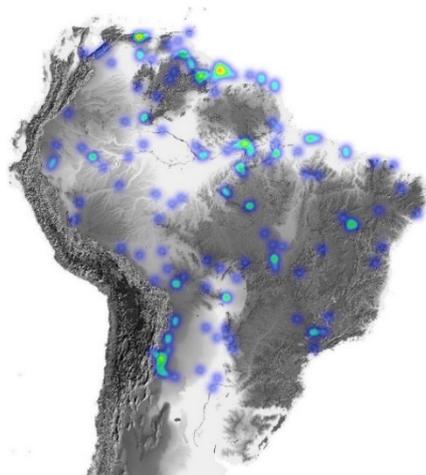


Figura 3g - 1801-1960

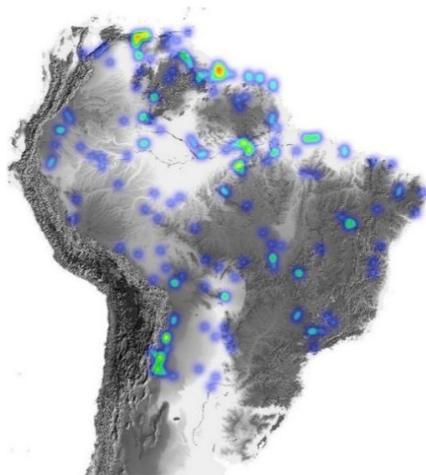


Figura 3h - 1801-1970

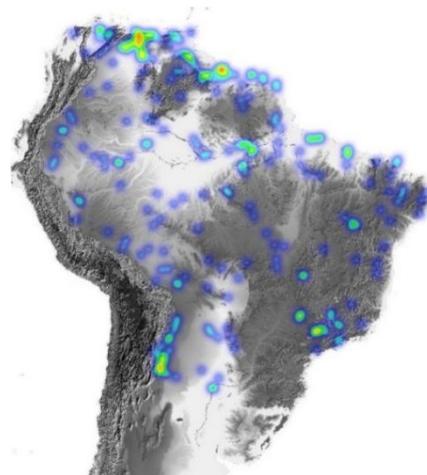


Figura 3i - 1801-1980

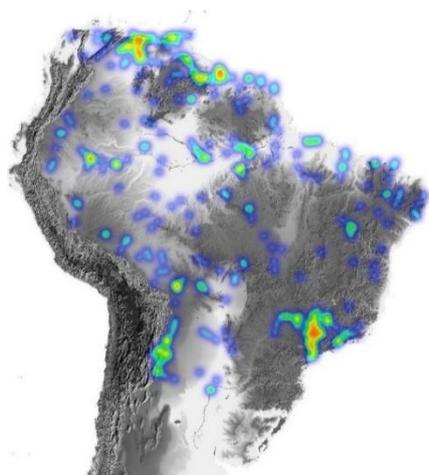


Figura 3j - 1801–1990

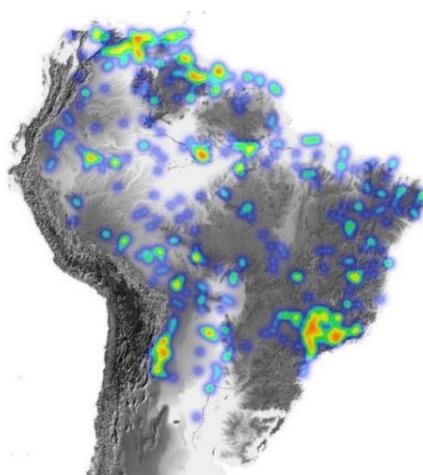


Figura 3k - 1801–2000

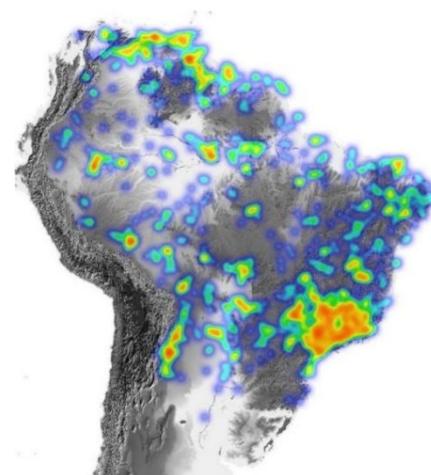


Figura 3l - 1801–2010

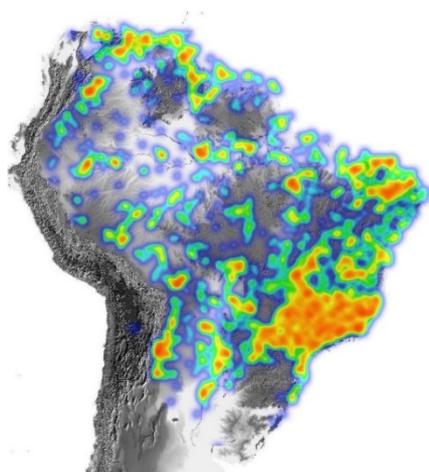


Figura 3m - 1801–2021

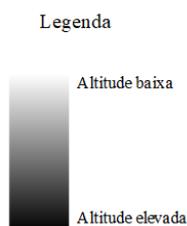


Figura 3: Mapas de calor indicando visualmente a densidade de registros de ocorrência para *Sporophila lineola* na América do Sul (cor vermelha: alta densidade / cor azul: baixa densidade). Os intervalos dos anos correspondentes às datas dos registros são os que se seguem. 3a: 1801–1900 / 3b: 1801–1910 / 3c: 1801–1920 / 3d: 1801–1930 / 3e: 1801–1940 / 3f: 1801–1950 / 3g: 1801–1960 / 3h: 1801–1970 / 3i: 1801–1980 / 3j: 1801–1990 / 3k: 1801–2000 / 3l: 1801–2010 / 3m: 1801–2021.

#### 4.3 Distribuição geográfica de *S. flaveola* no sudeste e sul do Brasil

Foram reunidos 52.097 registros datados e georreferenciados de *S. flaveola* para o sudeste e sul do Brasil entre os meses de novembro a maio, porém 11.384 registros eram redundantes, que, ao serem excluídos, resultaram em 40.713 ocorrências.

O primeiro registro da espécie para o sudeste foi no ano de 1897 no estado de São Paulo (Pinto, 1944a, Figura 4a), e para o sul o primeiro registro data de 1915 no estado do Rio Grande do Sul (MCZ-ZOO 69412 - Figura 4c). Desde a data da primeira ocorrência de *S. flaveola* até a década de 30, a espécie foi registrada em todos os estados do sudeste e sul do Brasil (Figuras

4a–4e), diferentemente dos registros de *S. lineola* no mesmo período. Para os anos posteriores (1941–2021), observa-se um acúmulo de registros de *S. flaveola* nestas regiões (Figuras 4f–4m), evidenciando que a espécie já se encontrava plenamente estabelecida por toda a região.

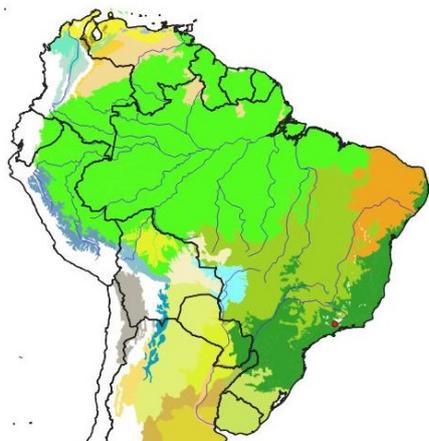


Figura 4a - 1801–1900



Figura 4b - 1901–1910



Figura 4c - 1911–1920



Figura 4d - 1921–1930



Figura 4e - 1931–1940



Figura 4f - 1941–1950



Figura 4g - 1951–1960



Figura 4h - 1961–1970

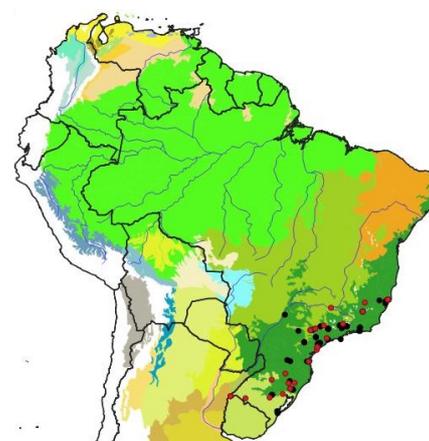


Figura 4i - 1971–1980



Figura 4j - 1981–1990



Figura 4k - 1991–2000



Figura 4l - 2001–2010



Figura 4m - 2011–2021

## Legenda

- |   |  |
|---|--|
| <span style="color: green;">■</span> Mata atlântica                               | <span style="color: orange;">■</span> Pampas húmidos                                     |
| <span style="color: lightgreen;">■</span> Amazônia                                | <span style="color: yellow;">■</span> Llanos / Savanna das Guianas                       |
| <span style="color: yellow;">■</span> Florestas secas de Apure-Villavicencio      | <span style="color: lightblue;">■</span> Florestas montanhosas do Vale Magdalena         |
| <span style="color: lightyellow;">■</span> Savana de Beni                         | <span style="color: teal;">■</span> Florestas úmidas de Magdalena-Urabá                  |
| <span style="color: lightblue;">■</span> Yungas bolivianas                        | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Costa seca da Venezuela                       |
| <span style="color: orange;">■</span> Caatinga                                    | <span style="color: cyan;">■</span> Pantanal   |
| <span style="color: brown;">■</span> Florestas úmidas de Catatumbo                | <span style="color: peachpuff;">■</span> Savana alagada do Paraná                        |
| <span style="color: grey;">■</span> Puna seca andina central                      | <span style="color: blue;">■</span> Yungas peruanas                                      |
| <span style="color: olive;">■</span> Cerrado                                      | <span style="color: darkblue;">■</span> Yungas andinas do sul                            |
| <span style="color: lightyellow;">■</span> Florestas secas de Chiquitano          | <span style="color: lightblue;">■</span> Manguezais do Atlântico Sul                     |
| <span style="color: blue;">■</span> Florestas montanhosas da cordilheira da costa | <span style="color: yellowgreen;">■</span> Savana mesopotâmica do cone sul               |
| <span style="color: yellowgreen;">■</span> Chaco seco                             | <span style="color: lightgreen;">■</span> Savana uruguaia                                |
| <span style="color: brown;">■</span> Espinal                                      | <span style="color: lightgreen;">■</span> Florestas montanhosas dos andes venezuelanos   |
| <span style="color: yellow;">■</span> Monte alto                                  | <span style="color: red;">●</span> Registros durante o período indicado                  |
| <span style="color: yellowgreen;">■</span> Chaco húmido                           | <span style="color: black;">●</span> Acúmulo de registros durante os períodos anteriores |

Figura 4: Mapas dos registros de ocorrência de *Sicalis flaveola* nas ecorregiões do sudeste e sul do Brasil. Os intervalos dos anos correspondentes às datas dos registros são os que se seguem. 4a: 1801–1900 / 4b: 1901–1910 / 4c: 1911–1920 / 4d: 1921–1930 / 4e: 1931–1940 / 4f: 1941–1950 / 4g: 1951–1960 / 4h: 1961–1970 / 4i: 1971–1980 / 4j: 1981–1990 / 4k: 1991–2000 / 4l: 2001–2010 / 4m: 2011–2021

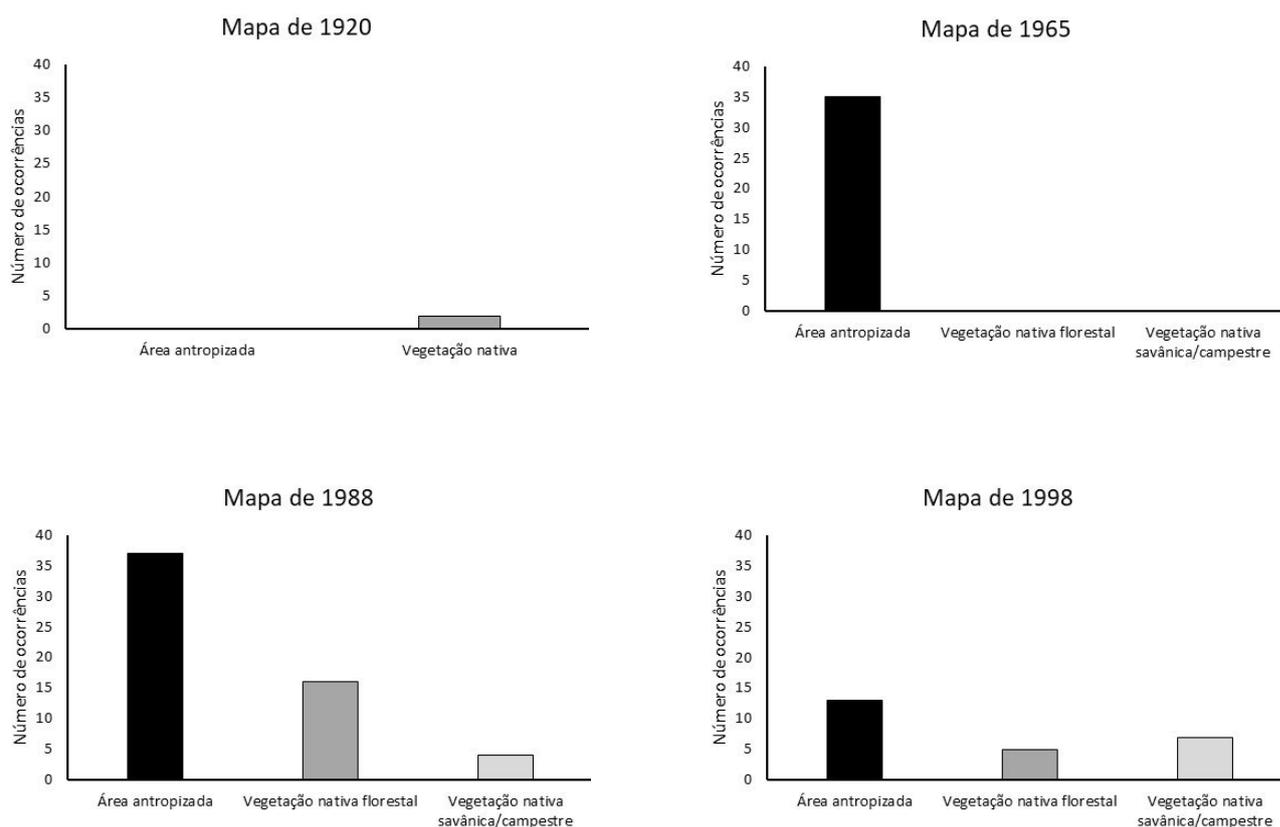
#### 4.4 Ocorrência de *S. lineola* em São Paulo e sua relação com o histórico ambiental do estado

Os dois primeiros registros de ocorrência da espécie para o estado (1898 e 1903) foram obtidos em área de vegetação nativa, de acordo com o Mapa de 1920 (Tavares et al., 2021). Estes registros foram os únicos da espécie para o estado até a década de 1930. A partir de 1941, observa-se um aumento no número de registros, acumulando até o ano de 1965 um total de 35 registros para o estado, os quais, de acordo com o Mapa de 1965 (IBGE, 1965), pertencem a uma única classe de uso do solo: área antropizada.

Para os anos subsequentes, de acordo com os Mapas de 1988, 1998, 2008 e 2018

(MapBiomias, 2020), os registros de ocorrência para a espécie foram mais frequentes em áreas antropizadas do que em áreas de vegetação nativa (Figura 5). E em relação às áreas de vegetação nativa, os registros de ocorrência foram mais frequentes em áreas de floresta do que em áreas de savana/campo, exceto para o marco temporal de 1998.

O valor de Kappa encontrado na análise de concordância dos dados do marco temporal de 2018 foi de 0,887, com um erro padrão de 0,638. Esse valor de Kappa nos indica uma concordância perfeita (Landis e Koch, 1977) entre a classificação de uso e cobertura do solo obtida no pixel do ponto de ocorrência da espécie (coordenada do registro) e a classificação de uso e cobertura do solo obtida na matriz do ponto de ocorrência. No entanto, este valor de erro padrão indica um resultado com pouca acurácia.



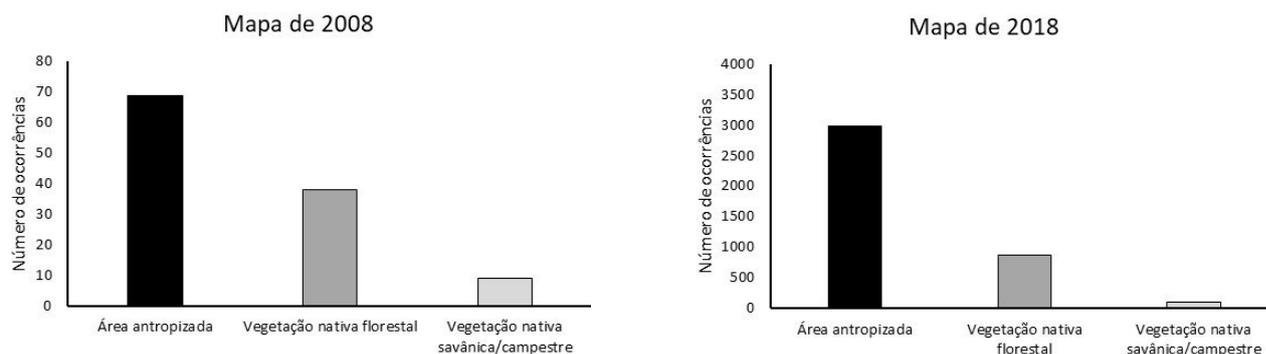


Figura 5: Número de ocorrências de *Sporophila lineola* (eixo y) para o estado de São Paulo em cada marco temporal (1920, 1965, 1988, 1998, 2008 e 2018) e as respectivas categorias de uso e cobertura do solo (eixo x - área antropizada, vegetação nativa florestal e vegetação nativa savânica/campestre) (Tabela 2).

## 5. Discussão

Nossos achados confirmam a hipótese de que *S. lineola* expandiu sua distribuição geográfica para o sudeste e sul do Brasil nos últimos 100 anos. Para o sudeste sua expansão iniciou a partir da década de 40, e sua expansão para o sul a partir da década de 90. No estado de São Paulo, para o qual temos dados detalhados de mudanças de uso e cobertura do solo desde 1920, o centro-oeste parece ter sido o ponto de partida dessa expansão. Os registros históricos da espécie-controlado para o sudeste do Brasil nos permitem concluir que, apesar das lacunas históricas de amostragem, as regiões de potencial ocorrência da espécie-modelo foram razoavelmente bem amostradas mesmo em tempos passados. Isso porque, já na década de 1930, *S. flaveola* havia sido registrada em todos os estados do sudeste e sul do Brasil, diferentemente do observado para *S. lineola* no mesmo período e nas mesmas regiões. Nossos resultados também corroboram a hipótese de que a expansão de *S. lineola* está relacionada a mudanças no uso e na cobertura do solo, sendo a espécie encontrada geralmente em áreas antropizadas e não em áreas que preservam sua fitofisionomia original, seja ela florestal ou savânica.

Os registros de ocorrência histórica de *S. lineola* obtidos na Amazônia desde o início do século XIX estão concentrados no entorno dos grandes rios, padrão este que se tornou mais evidente com a intensificação das amostragens nas décadas subsequentes (Figuras 2a–2m). No entanto, como o deslocamento humano na região amazônica se dá predominantemente ao longo dos rios (Batista e Miranda, 2019), tal concentração de registros ao longo das vias de acesso é esperada. Tal padrão de amostragem, no entanto, não invalida uma possível associação ecológica de *S. lineola* com habitats ripários, pois são as flutuações no nível dos rios amazônicos que geram as perturbações responsáveis pelo estabelecimento e manutenção de

fitofisionomias abertas em uma região predominantemente florestada (Snethlage, 1910; Remsen e Parker, 1983; Junk et al., 2012). Por exemplo, as áreas baixas das planícies de inundação dos rios amazônicos, na zona de transição entre os ambientes terrestres e aquáticos, são colonizadas durante a fase seca por vegetação característica de ambientes abertos, como gramíneas perenes e anuais, e outras plantas herbáceas (Junk et al., 2012). Esse conjunto de fatores nos fornece um importante ponto de partida para elucidar as questões acerca da expansão de *S. lineola* pelo sudeste do Brasil.

Rios em todo o mundo criam ao longo de suas margens habitats que se diferem na composição vegetal e animal dos ambientes adjacentes, sendo, no entanto, as dimensões destes rios fatores importantes na dinâmica de criação desses habitats. Por exemplo, devido à elevada amplitude das flutuações sazonais nos níveis das águas, os rios amazônicos apresentam grande potencial de criação de habitats, podendo inundar áreas com vários quilômetros de extensão (Remsen e Parker, 1983; Junk et al., 2012). Os pulsos de inundação são eventos previsíveis que controlam a dinâmica de retração e expansão dos diferentes habitats ripários, influenciando na riqueza e composição de espécies das comunidades locais (Remsen e Parker, 1983; Junk et al., 2012). Aves campestres que habitam enclaves de vegetação aberta na Amazônia também utilizam a vegetação ao longo dos rios para se dispersarem (Snethlage, 1910), expandindo sua distribuição à medida que as paisagens naturais dão lugar a ambientes antropizados abertos, tais como roças, plantações, pastagens e estradas (Snethlage, 1910; Guilherme e Czaban, 2015). Assim como para algumas aves campestres da Amazônia, os nossos achados apontam para a mesma tendência de expansão geográfica de *S. lineola* no estado de São Paulo: uma distribuição originalmente associada aos habitats criados pelos rios, com recente expansão da distribuição pelas paisagens antropizadas. Sendo assim, sugerimos que os habitats primordialmente utilizados por *S. lineola* em São Paulo estavam restritos às bacias dos rios que drenam para o noroeste do estado, como o Rio Aguapeí, o Rio do Peixe e, em especial, o Rio Tietê e seus afluentes. Antes das variadas interferências humanas, as águas do Rio Tietê em alguns trechos formavam cachoeiras, enquanto em outros pontos suas águas corriam a baixa velocidade, percorrendo um curso cheio de meandros, com lagoas marginais, várzeas e brejos que se formavam devido às flutuações sazonais nos níveis das águas (Rocha, 1991; Zanirato, 2011; Jorge, 2017; Pessoa, 2019). Esses habitats criados pelo rio eram ocupados por espécies adaptadas a ambientes perturbados sazonalmente, incluindo, muito provavelmente, *S. lineola*. Do século XIX até os anos 1950, todos os registros de *S. lineola* foram obtidos na Bacia Hidrográfica do Rio Tietê, quando a espécie passou então a ser documentada em outras bacias, como a do Rio Juquiá. Na década de 70, a espécie alcançou o extremo leste do estado de São

Paulo e, a partir de 1981, os registros de ocorrência se tornaram cada vez mais dispersos, sugerindo um processo já consolidado de expansão.

A utilização de áreas de várzeas é bem documentada para *S. lineola* na Amazônia (Snethlage, 1913; Silva, 1999), sendo o mesmo verificado para outras espécies do gênero, como é o caso de *S. bouvronides*, comumente encontrada em várzeas ou próxima à água (Silva, 1999; del Hoyo et al., 2011). *S. castaneiventris* habita preferencialmente ambientes ao longo de rios, como vegetação flutuante, arbustos e pequenas árvores (Remsen e Parker, 1983; Borges e Macêdo, 2001; del Hoyo et al., 2011), enquanto *S. americana* é encontrada em habitats ribeirinhos (del Hoyo et al., 2011). Outra semelhança em relação aos habitats ocupados por esses representantes do gênero *Sporophila* é a ocorrência em áreas perturbadas, como clareiras em meio à floresta, bordas de matas, áreas agrícolas e pastagens (del Hoyo et al., 2011). Portanto, os ambientes utilizados por essas espécies muitas vezes são sujeitos a perturbações naturais ou antrópicas.

Devido à sua importância para o desenvolvimento econômico e crescimento demográfico do estado de São Paulo, o Rio Tietê foi cenário de inúmeras intervenções humanas. Isto acarretou mudanças drásticas no curso do rio e no seu pulso de inundação, as quais degradaram severamente os habitats ripários. Dentre essas intervenções, ressaltamos a desordenada ocupação das várzeas e brejos naturais a partir da segunda década do século XIX, a retificação do curso do rio, a construção de reservatórios para geração de energia e abastecimento da população, a expansão de indústrias e o desenvolvimento de atividades agropecuárias, em especial a produção de café (Rocha, 1991; Victor et al. 2005; Zanirato, 2011; Del-Rio, 2014; Pessoa, 2019). A derrubada das florestas de São Paulo se acelerou a partir de 1850, com o avanço das lavouras de café pelo Vale do Paraíba em direção ao interior paulista (Dean, 1996; Rocha, 1991; Victor, et al., 2005), até que a devastação quase completa das terras agricultáveis do estado se consolidou antes mesmo da década de 1960 (Victor, et al., 2005).

Durante o processo de mudanças no uso e cobertura do solo que ocorreu em São Paulo, as áreas de várzea naturalmente perturbadas deram lugar a habitats antropizados que foram sendo expandidos e conectados à medida que as atividades agropecuárias avançaram sobre a paisagem natural, dando lugar a grandes áreas abertas. Sendo assim, o habitat da espécie, o qual sugerimos originalmente estar restrito às várzeas, outrora pequeno e isolado, deu lugar a um contínuo de paisagens abertas e perturbadas pela ação humana. O aumento das áreas abertas, portanto, deve ser considerado um dos principais impulsionadores da expansão da distribuição de *S. lineola* pelo sudeste e sul do Brasil. Tal fato é apoiado pela constatação de que a espécie não é encontrada habitualmente em formações abertas naturais do Cerrado, sendo mesmo

considerada uma espécie sinântropa no centro-sul do Brasil, onde é frequentemente registrada no entorno de habitações rurais (Magalhães, 1999; L. Lopes, com. pessoal). É possível que esta preferência esteja ligada à presença comum de açudes e outros corpos d'água no entorno dessas habitações, uma vez que a espécie é frequentemente registrada em ambientes próximos à água (obs. pessoal). Tal associação, por exemplo, é observada em *Fluvicola nengeta*, outro passeriforme que habita uma diversidade de ambientes abertos, geralmente associado a corpos d'água, incluindo margens de lagoa, açudes artificiais rurais e urbanos, os quais frequentemente estão associados a áreas agrícolas (Willis, 1991; Straube et al., 2007). A expansão geográfica de *F. nengeta* do nordeste para regiões do sudeste e sul do Brasil está associada ao desmatamento de áreas florestadas e à expansão da agricultura (Willis, 1991; Straube et al., 2007). Também há indícios de que em algumas situações a espécie pode ter se aproveitado da expansão de ambientes ribeirinhos associados à formação de reservatórios de usinas hidrelétricas, fato também observado para *Fluvicola albiventer*, cuja ocorrência no estado do Paraná nos anos 80 tem relação com a formação da Usina de Itaipu (Straube et al., 2007). Casos como estes exemplificam como alguns requisitos ecológicos podem influenciar a ocupação de uma determinada espécie dentro de uma escala local.

A vegetação nativa da América do Sul foi historicamente submetida a um processo consistente de mudanças no uso e na cobertura do solo. A principal impulsionadora da conversão de vegetação nativa em áreas de uso antrópico foi a expansão de áreas agrícolas e pastagens (Silva, 1999; Leite et al., 2012; Pires e Costa, 2013; Salazar et al., 2015). Esse processo acarretou também a disseminação de várias espécies de gramíneas exóticas utilizadas no manejo dessas áreas (Sarmiento, 1992; Williams e Baruch, 2000). Como resultado, muitas vezes observa-se a redução da complexidade do habitat, levando à homogeneização ambiental e, conseqüentemente, à homogeneização biótica (Olden, 2006; Solar et al. 2015; Nordberg e Schwarzkopf, 2019).

Respostas distintas em relação às mudanças no uso e cobertura do solo podem ser verificadas para outras espécies associadas a habitats criados pelos rios, mas que, diferentemente de *S. lineola*, foram prejudicadas pela antropização. Um bom exemplo é o passeriforme *Formicivora paludicola*, espécie descrita há apenas oito anos, endêmica das áreas brejosas da Bacia do Alto Tietê e do Alto Paraíba do Sul. A ocupação humana e a degradação ambiental das áreas brejosas das bacias nas quais a ave se distribui, uma das regiões mais populosas da América do Sul, foram as principais causas de perda e fragmentação do habitat da espécie (Buzzetti, et al., 2013; Del-Rio, 2014; Del-Rio et al., 2015). A espécie, que possui capacidade de dispersão limitada, disponibilidade de habitat restrita e alta especificidade de

habitat (Del-Rio, 2014), é atualmente considerada Criticamente Ameaçada de extinção (IUCN, 2022).

No que se refere ao grupo das *Sporophila*, o contexto de degradação ambiental tem afetado principalmente as espécies genuinamente campestres, como é o caso de *S. cinnamomea*. Especializada no consumo de gramíneas nativas, a principal ameaça à espécie tem sido a descaracterização dos ambientes campestres por meio de interferências humanas, principalmente com a expansão da agricultura e pecuária (Carrano, 2008). Por outro lado, assim como *S. lineola*, várias espécies de aves de ambientes abertos têm expandido suas distribuições geográficas em resposta às modificações na paisagem. Aparentemente, aves que vivem em ambientes abertos e que apresentam hábitos generalistas, ou que conseguem adequar sua dieta para incluir espécies exóticas introduzidas pelo ser humano, apresentam facilidade de dispersão pelas paisagens antrópicas, alargando suas áreas de distribuição em decorrência do desmatamento e expansão da agricultura (Sick, 1997). Isso parece ter acontecido com diversas espécies de aves associadas a áreas de agropecuária na América do Sul, sendo estas espécies análogas aos “farmland birds” da Europa. Bons exemplos seriam *Athene cunicularia*, *Vanellus chilensis* (Guilherme e Czaban, 2015), *Chrysomus ruficapillus* (Alvarenga, 1990), *Columbina picui*, *Columbina squammata*, *Leistes superciliaris*, *Molothrus bonariensis* (Sick, 1997), *Fluvicola nengeta* (Alvarenga, 1990; Willis, 1991; Straube et al., 2007), *Patagioenas picazuro* (Willis e Oniki, 1987; Alvarenga, 1990; Silveira, 2013; Ugarte, 2019), *Phacellodomus rufifrons* (Willis e Oniki, 1993), *S. caerulescens* (Sick, 1997; Francisco, 2006), *Zenaida auriculata* (Sick, 1997; Bucher e Ranvaud, 2006; Ortúzar-Ferreira et al, 2022). Em relação à espécie-modelo *S. lineola*, sua expansão recente vem sendo documentada por diversos pesquisadores em variados locais: no Equador (Freile et al., 2013), no sul do Brasil (Carrano et al., 2002; Bencke, 2010) - onde sua expansão tem sido associada a paisagens alteradas por atividades agropecuárias -, e no sudeste do Brasil (Pacheco, 1993; Pacheco et al., 1997a; Pacheco et al., 1997b) – onde foi considerada como espécie invasora para o estado do Rio de Janeiro (Pacheco, 1993).

Os nossos achados elucidam parte dos motivos que permitiram que *S. lineola*, um “farmland bird” sul-americano, expandisse sua distribuição geográfica impulsionado pelas mudanças no uso e cobertura do solo, conduzidas majoritariamente pela ação humana. A documentação desse processo nos permite relacionar a alteração dos habitats com sua ocupação exitosa por espécies oportunistas e nos fornece um alerta sobre como alterações antrópicas na paisagem podem desempenhar um papel determinante na dinâmica de ocupação das espécies. Enquanto algumas espécies se beneficiam de tais mudanças, outras são prejudicadas, o que pode ser influenciado não apenas pelo grau de interferência humana na paisagem, mas também

pelo tempo de ocorrência dessas mudanças. Por exemplo, os “farmland birds” europeus outrora expandiram suas distribuições devido ao aumento de áreas agrícolas, mas ao longo das últimas décadas estão em declínio populacional. Tal declínio drástico tem sido causado por perda dos seus habitats ideais, os quais têm dado lugar a dois extremos paisagísticos: de um lado, a regeneração de florestas; de outro, a intensificação da agricultura em grandes monoculturas que produzem uma maciça simplificação da paisagem. Sendo assim, os ambientes agrícolas, dos quais essas espécies antes se beneficiaram, perderam a heterogeneidade ambiental necessária para nidificação, alimentação, reprodução etc. A experiência europeia com os “farmland birds” tem muito a nos ensinar sobre como o histórico de mudanças na paisagem pode influenciar o status de conservação de uma espécie, lançando uma reflexão sobre como populações bem estabelecidas e pouco preocupantes em termos conservacionistas podem se tornar vulneráveis no futuro. É objetivo deste estudo debater (não determinar) qual será o status de conservação de *S. lineola* e outros “farmland birds” sul-americanos no futuro. Diante das dramáticas mudanças globais em curso, este estudo se revela um provocativo convite à reflexão de como essas alterações influenciarão os “farmland birds” sul-americanos.

## Referências

- Alvarenga, H.M. 1990. **Novos registros e expansões geográficas de aves no leste do estado de São Paulo**. Ararajuba, v. 1, p. 115-117.
- Batista, I.M.D.S.; Miranda, L.M. 2019. **Os “Hidronegócios” nos rios da Amazônia**. Revista Brasileira de História, v. 39, pp. 117-139.
- Bencke, G.A. 2010. **New and significant bird records from Rio Grande do Sul, with comments on biogeography and conservation of the southern Brazilian avifauna**. Iheringia. Série Zoologia, v. 100, pp. 391-402.
- Bennett, A.F.; Radford, J.Q.; Haslem, A. 2006. **Properties of land mosaics: implications for nature conservation in agricultural environments**. Biological conservation, v. 133, pp. 250-264.
- Borges, S. H.; Macêdo, I. T. 2001. **Cecropia fruits and Müllerian bodies in the diet of Chestnut-bellied Seedeater *Sporophila castaneiventris***. Cotinga, pp 17-18.
- Bucher E.H.; Ranvaud, R.D. 2006. **Eared dove outbreaks in South America: patterns and characteristics**. Acta Zoologica Sinica, v. 52: pp. 564-567.
- Butchart, S.H. et al. 2010. **Global biodiversity: indicators of recent declines**. Science, v. 328, pp. 1164-1168.

- Buzzetti, D.R.C. 2013. **A new species of *Formicivora* Swainson, 1824 (Thamnophilidae) from the state of São Paulo, Brazil.** Revista Brasileira de Ornitologia, v. 21, pp. 269-291.
- Calabrese, J.M.; Fleming, C.H.; Gurarie, E. 2016. **ctmm: an R package for analyzing animal relocation data as a continuous-time stochastic process.** Methods in Ecology and Evolution, v. 7, pp. 1124-1132.
- Calabrese, J.M. et al. 2021. **ctmmweb: a graphical user interface for autocorrelation-informed home range estimation.** Wildlife Society Bulletin, v. 45, pp. 162-169.
- Carrano, E.; Ribas, C.; Müller, J. 2002. **Primeiros registros do bigodinho *Sporophila lineola* para Santa Catarina.** Atualidades Ornitológicas, v. 108, pp. 12.
- Carrano, E. 2008. *Sporophila cinnamomea*. In: Machado, A.B.M., Drummond G.M; & Paglia A.P (eds.). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção.** Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas. p. 540–541.
- CBS, PBL, RIVM, WUR. 2022. **Farmland bird indicator, 1915-2020 (indicator 1479, version 13, 28 March 2022).** Statistics Netherlands (CBS), The Hague; PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague; RIVM National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven; and Wageningen University and Research, Wageningen. <https://www.environmentaldata.nl>.
- Chase, J.M. et al. 2020. **Biodiversity conservation through the lens of metacommunity ecology.** Annals of the New York Academy of Sciences, pp. 1-19.
- Clements, J. F. et al. 2021. **The Clements checklist of Birds of the World, v2021.** Downloaded from <https://www.birds.cornell.edu/clementschecklist/download/>.
- Cohen, J. 1960. **A coefficient of agreement for nominal scales.** Educational and psychological measurement, v. 20, pp. 37-46.
- Congalton, R.G.; Green, K. 2009. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices, 2 nd ed.** New York: CRC press. 183 p.
- Couto, P. 2003. **Assessing the accuracy of spatial simulation models.** Ecological Modelling, v. 167, pp. 181-198.
- Cunha, F.C.; Lopes, L.E.; Selezneva, A. 2022. **Revealing migration schedule and potential breeding grounds of Lined Seedeaters using citizen science data.** Emu-Austral Ornithology, pp. 1-9.
- Dean, W. 1996. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira.** 484 p.
- Del Hoyo, J.; Elliott, A.; Chritie, D.A. 2011. **Handbook of the Birds of the World.** Volume 16. Espanha, Barcelona: Linx Edicions.

- Del-Rio, G.C. 2014. **Distribuição, habitat e área de vida do bicudinho-do-brejo-paulista (*Formicivora paludicola*)**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo.
- Del-Rio, G.; Rêgo, M.A.; Silveira, L. F. 2015. **A multiscale approach indicates a severe reduction in Atlantic Forest wetlands and highlights that São Paulo Marsh Antwren is on the brink of extinction**. PloS one, v. 10, pp. e0121315.
- Department for Environment, Food & Rural Affairs. 2021. **Wild bird populations in the UK, 1970 to 2019 (Updated for Wintering Waterbirds)**. 57 p.
- Devictor, V.; Julliard, R.; Jiguet, F. 2008. **Distribution of specialist and generalist species along spatial gradients of habitat disturbance and fragmentation**. Oikos, v. 117, pp. 507-514.
- Donald, P.F.; Green, R.E.; Heath, M.F. 2001. **Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations**. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences, v. 268, pp. 25-29.
- Donald, P.F. et al. 2002. **The Common Agricultural Policy, EU enlargement and the conservation of Europe's farmland birds**. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 89, pp. 167-182.
- DSG. 1998. **Manual Técnico de Convenções Cartográficas T-34-700, 1ª parte, 2ª ed.** Brasília.
- Ernault, A. et al. 2006. **Potential landscape drivers of biodiversity components in a flood plain: past or present patterns?** Biological conservation, v. 127, pp. 1-17.
- ESRI, 2014. **ArcGIS Desktop: Release 10.2**. Redlands CA.
- Ferreira, D.F, Lopes, L.E. 2017. **Natural history of the Lined Seedeater *Sporophila lineola* (Aves: Thraupidae) in southeastern Brazil**. Journal of Natural History, v. 51, pp. 1425–1435.
- Fleming, C.H. et al. 2015. **Rigorous home range estimation with movement data: a new autocorrelated kernel density estimator**. Ecology, v. 96, pp. 1182-1188.
- Foley, J.A. et al. 2005. **Global consequences of land use**. Science, v. 309, pp. 570-574.
- Foppen, R.P. et al. 2017. **Reconstructing trends in bird population numbers by integrating data and information sources**. Vogelwelt, v. 137, pp. 80-88.
- Francisco, M.R. 2006. **Breeding biology of the Double-collared Seedeater (*Sporophila caerulescens*)**. The Wilson Journal of Ornithology, v. 118, pp. 85-90.
- Freile, J. et al. 2013. **Rare birds in Ecuador: first annual report of the Committee of Ecuadorian Records in Ornithology (CERO)**. Avances en Ciencias e Ingenierías, v. 5, pp. B24-B41.

- Gregory, R. D. et al. 2019. **An analysis of trends, uncertainty and species selection shows contrasting trends of widespread forest and farmland birds in Europe.** *Ecological Indicators*, v. 103, pp. 676-687.
- Guilherme, E.; Czaban, R.E. 2015. **First record of the Yellowish Pipit in Acre with notes on other grassland birds in southwestern Amazônia.** *Neotropical Biology and Conservation*, v. 10, pp. 169-176.
- Gwinn, N.E.; Rinaldo, C. 2009. **The Biodiversity Heritage Library: sharing biodiversity literature with the world.** *IFLA Journal*, v. 35, pp. 25-34.
- He, X. et al. 2019. **The effects of interaction between climate change and land-use/cover change on biodiversity-related ecosystem services.** *Global Challenges*, v. 3, pp. 1800095.
- Hellmayr C.E. 1938. **Catalogue of birds of the Americas and the adjacent islands in Field Museum of Natural History, part XI, Ploceidae, Catamblyrhynchidae, Fringillidae.** *Field Museum of Natural History Zoological Series*, v. 13, pp. 1-662.
- Hickling, R. et al. 2006. **The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards.** *Global change biology*, v. 12, pp. 450-455.
- IBGE. 1965. **Mapa de vegetação do estado de São Paulo.**
- IUCN. 2022. **The International Union for Conservation of Nature Red List of Threatened Species.** Version 2022-1. <https://www.iucnredlist.org>.
- Jorge, J. 2017. **O rio que a cidade perdeu: o tietê e os moradores de São Paulo 1890-1940,** 2 ed. São Paulo: Alameda. p. 210.
- Junk, W.J. et al. 2012. **A classification of major natural habitats of Amazonian white-water river floodplains (várzeas).** *Wetlands Ecology and Management*, v. 20, pp. 461-475.
- Landis, J.R.; Koch, G.G. 1977. **The measurement of observer agreement for categorical data.** *Biometrics*, v. 33, pp. 159-174.
- Leite, C.C. et al. 2012. **Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995.** *Global Biogeochemical Cycles*, v. 26, pp 1-13.
- Lopes, L.E.; Schunck, F. 2022. **Unravelling the migratory patterns of the rufous-tailed attila within the Neotropics using citizen science and traditional data sources.** *Ornithology Research*, pp. 1-12.
- Magalhães, J.C.R. 1999. **As aves na fazenda Barreiro Rico.** Editora Plêiade.
- MapBiomias, P. 2020. **Coleção 5 da série anual de mapas de uso e cobertura da terra do Brasil,** acessado por meio do link: <https://www.mapbiomas.org>.
- Martins, G.D.M.; Cunha, F.C.; Lopes, L.E. 2021. **Territorial behavior of the migratory Lined Seedeater during the breeding season.** *Ornithology Research*, v. 29, pp.133-139.

- Mouillot, D. et al. 2011. **Functional structure of biological communities predicts ecosystem multifunctionality**. PloS one, v. 6, e17476.
- Newbold, T. et al. 2015. **Global effects of land use on local terrestrial biodiversity**. Nature, v. 520, pp. 45-50.
- Nordberg, E.J.; Schwarzkopf, L. 2019. **Reduced competition may allow generalist species to benefit from habitat homogenization**. Journal of Applied Ecology, v. 56, pp. 305-318.
- Olden, J.D. et al. 2004. **Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization**. Trends in ecology & evolution, v. 19, pp. 18-24.
- Olden, J.D. 2006. **Biotic homogenization: a new research agenda for conservation biogeography**. Journal of Biogeography, v. 33, pp. 2027-2039.
- Ortúzar-Ferreira, C.N.; Tavares, G.M.; Franchin, A.G. 2022. **Territorial expansion of *Zenaida auriculata* (Aves: Columbidae) in the Brazilian Amazon**. Acta Amazonica, v. 52, pp. 166-171.
- Pacheco, J.F. 1993. **Expansões geográficas de aves do Rio de Janeiro (R:42)**. In III Congresso Brasileiro de Ornitologia. Rio Grande do Sul: Universidade Católica de Pelotas.
- Pacheco, J.F. et al. 1997a. **Novos registros de aves para o estado do Rio de Janeiro: Costa Verde**. Atualidades Ornitológicas, v. 78, pp. 4-5.
- Pacheco, J.F. et al. 1997b. **Novos registros de aves para o estado do Rio de Janeiro: região sul do vale do rio Paraíba do Sul**. Atualidades Ornitológicas, v. 79.
- Parnesan, C. 2006. **Ecological and evolutionary responses to recent climate change**. Annual review of ecology and systematics, v. 37, pp. 637-669.
- Paynter Jr, R.A. 1982. **Ornithological gazetteer of Venezuela**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A. 1988. **Ornithological gazetteer of Chile**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A. 1989. **Ornithological gazetteer of Paraguay**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A. 1992. **Ornithological gazetteer of Bolivia**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A. 1993. **Ornithological gazetteer of Ecuador**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A. 1994. **Ornithological gazetteer of Uruguay**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A. 1995. **Ornithological gazetteer of Argentina**. Estados Unidos, Cambridge:

- Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A. 1997. **Ornithological gazetteer of Colombia**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A.; Traylor Jr, M.A. 1991. **Ornithological gazetteer of Brazil**, 2 vols. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Paynter Jr, R.A.; Mayr E. (eds.). 1970. **Check-list of birds of the World: a continuation of the work of James L. Peters**, 13 vol. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Pessoa, D.F. 2019. **O processo de retificação do rio Tietê e suas implicações na cidade de São Paulo, Brasil**. Paisagem e Ambiente, v. 30, pp. e158617.
- Pinto, O. 1944a. **Catálogo das aves do Brasil e lista dos exemplares existentes na coleção do Departamento de Zoologia, 2ª parte. Ordem Passeriformes (continuação): superfamília Tyrannoidea e subordem Passeres**. Brasil, São Paulo: Departamento de Zoologia, Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio.
- Pinto, O. 1944b. **Sôbre as aves do distrito de Monte Alegre, Município de Amparo (São Paulo, Brasil)**. Papéis Avulsos, v. 4, pp. 117-150.
- Pinto, O. 1945. **Cinquenta anos de investigação ornitológica**. Arquivos de Zoologia. v. 4, pp. 261-340.
- Pinto, O. 1979. **A ornitologia no Brasil através das idades (século XVI a século XIX)**. Brasiliensia Documenta. V. 13, pp. 1-117.
- Pinto, O. 1952. **Aves do Itatiaia: lista remissiva e novas achegas à avifauna da região**. Papéis Avulsos, v. 10, pp. 155 -208.
- Pires, G.F.; Costa, M.H. 2013. **Deforestation causes different subregional effects on the Amazon bioclimatic equilibrium**. Geophysical Research Letters, v. 40, pp. 3618-3623.
- QGIS Development Team. 2020. **QGIS 3.16 LTR Hannover**. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Remsen Jr, J.V.; Parker III, T.A. 1983. **Contribution of river-created habitats to bird species richness in Amazonia**. Biotropica, v. 15, pp. 223-231.
- Ribeiro, J.F.; Walter, B.M.T. 1998. **Fitofisionomias do bioma cerrado**. In: Sano, S.M; Almeida, S.P. (eds.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa-CPAC. pp. 89-166.
- Ridgely, R.S, Tudor, G. 2009. **Field guide to the songbirds of South America: the passerines**. Austin (TX): University of Texas Press.
- Rocha, A.A. 1991. **Do lendário Anhembi ao poluído Tietê**. São Paulo: Universidade de São Paulo.

- Salazar, A. 2015. **Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review**. *Global and Planetary Change*, v. 128, pp. 103-119.
- Sarmiento, G. 1992. **Adaptive strategies of perennial grasses in South American savannas**. *Journal of Vegetation Science*, v. 3, pp. 325-336.
- Schauensee, R.M. 1952. **A review of the genus *Sporophila***. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, v. 104, pp. 153-196.
- Schubert, S.C.; Manica, L.T.; Guaraldo, A.D. C. 2019. **Revealing the potential of a huge citizen-science platform to study bird migration**. *Emu-Austral Ornithology*, v. 119, pp. 364-373.
- Schwartz, P. 1975. **Solved and unsolved problems in the *Sporophila lineola/bouvronides* complex (Aves: Emberizidae)**. *Annals of the Carnegie Museum*, v. 45, pp. 277-285.
- Sharpe, R.B. 1888. **Catalogue of the Passeriformes, or perching birds, in the collection of the British Museum, Fringilliformes, part III, vol. XII**. London, UK: British Museum.
- Sick, H. 1997. **Ornitologia brasileira**. Brasil, Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- Sick, H.; Pabst, L.F. 1968. **As aves do Rio de Janeiro (Guanabara), lista sistemática anotada**. *Arquivos do Museu Nacional*, v. 53, pp. 99-160.
- Silva, J.M.C. 1999. **Seasonal movements and conservation of seedeaters of the genus *Sporophila* in South America**. *Studies in Avian Biology*, v. 19, pp. 272-280.
- Silveira, L.F. 2013. **Asa-branca invade o Brasil**. *Cães & Cia*, v. 412, pp. 2-3.
- Snethlage, E. 1910. **Sobre a distribuição da Avifauna campestre na Amazonia**. pp. 226-235.
- Snethlage, E. 1913. **Über die Verbreitung der Vogelarten in Unteramazonien**. *Journal für Ornithologie*, v. 61, pp. 469-539.
- Solar, R.R.C. et al. 2015. **How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes?** *Ecology Letters*, v. 18, pp. 1108-1118.
- Stephens, L.; Traylor Jr, M.A. 1983. **Ornithological gazetteer of the Peru**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Stephens, L.; Traylor Jr, M.A. 1985. **Ornithological gazetteer of the Guianas**. Estados Unidos, Cambridge: Museum of Comparative Zoology.
- Straube, F.C. et al. 2007. ***Fluvicola nengeta* (Linnaeus, 1766) nos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul e sua expansão de distribuição geográfica pelo sul do Brasil**. *Atualidades Ornitológicas*, v. 137, pp. 33-38.
- Sullivan, B.L. et al. 2014. **The eBird enterprise: an integrated approach to development and application of citizen science**. *Biological Conservation*, v. 169, pp. 31-40.
- Tavares, P.A., et al. 2021. **Testing temporal benchmarks effects on the implementation of**

- the new Brazilian Forest Act.** Environmental Science & Policy, v. 126, pp. 213-222.
- Tryjanowski, P. et al. 2011. **Conservation of farmland birds faces different challenges in Western and Central-Eastern Europe.** Acta Ornithologica, v. 46, pp. 1-12.
- Turnhout, E.; Lawrence, A.; Turnhout, S. 2016. **Citizen science networks in natural history and the collective validation of biodiversity data.** Conservation Biology, v. 30, pp. 532-539.
- Ugarte, M. 2019. **La paloma picazuro *Patagioenas picazuro* (Aves: Columbidae), primer registro confirmado para Perú.** Revista peruana de biología, v. 26, pp. 255-258.
- Vanzolini, P.E. 1992 **A supplement to the ornithological gazetteer of Brazil.** Brasil, São Paulo: Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo.
- Victor, M.D. et al. 2005. **Cem anos de devastação: revisitada 30 anos depois.** Ministério do Meio Ambiente. 68 p.
- Von Ihering, H. 1898. **As aves do Estado de São Paulo.** Revista do Museu Paulista, v 3, 476 p.
- Von Ihering, H. 1900. **Catálogo crítico-comparativo dos ninhos e ovos das Aves do Brazil.** Revista do Museu Paulista, v. 4, pp. 191-300.
- Von Ihering, H. 1902. **Contribuições para o conhecimento da Onithologia de São Paulo.** Revista do Museu Paulista, v. 5, pp. 261-329.
- Von Ihering, H. 1907. **As aves do Brazil.** Volume 1. Brasil, São Paulo: Museu Paulista.
- Zanirato, S.H. 2011. **História da ocupação e das intervenções na várzea do Rio Tietê.** Revista Crítica Histórica, v. 2, pp. 117-129
- Williams, D.G.; Baruch, Z. 2000. **African grass invasion in the Americas: ecosystem consequences and the role of ecophysiology.** Biological invasions, v. 2, pp. 123-140.
- Willis, E.O. 1991. **Expansão geográfica de *Netta erythrophthalma*, *Fluvicola nengeta* e outras aves de zonas abertas com a “desertificação” antrópica em São Paulo.** Ararajuba, v. 2, pp. 101-102.
- Willis, E.O.; Oniki, Y. 1987. **Invasion of deforested regions of São Paulo state by the picazuro pigeon, *Columba picazuro* Temminck, 1813.** Ciência e Cultura, v. 39, pp. 1064-1065.
- Willis, E.O.; Oniki, Y. 1993. **New and reconfirmed birds from the state of São Paulo, Brazil, with notes on disappearing species.** Bulletin of the British Ornithologists' Club. Club, v. 113, pp. 23-34.
- Wretenberg, J. et al. 2006. **Population trends of farmland birds in Sweden and England: similar trends but different patterns of agricultural intensification.** Journal of Applied Ecology, v. 43, pp. 1110-1120.

## Anexo I

### **Padronização da legenda com as categorias de uso e cobertura do solo**

Devido à utilização de diferentes fontes para as referências de cobertura vegetal no estado de São Paulo, cada qual com a sua codificação específica para as classes de uso e cobertura do solo, foi necessária a padronização dos termos utilizados para facilitar a interpretação e comparação dos resultados entre diferentes marcos temporais.

#### **Mapa de 1920 (Geolab, 2021)**

**Vegetação nativa.** Cobertura vegetal nativa do Cerrado e da Mata Atlântica (Tavares, et al. 2021).

**Área antropizada.** Agricultura e áreas urbanas (Tavares et al. 2021).

Não existem dados espaciais precisos sobre a distribuição da vegetação nativa antes da década de 1960 para o estado de São Paulo. Sendo assim, o Mapa de 1920 retrata as estimativas de cobertura de vegetação nativa e a distribuição da agricultura para o estado no ano de 1920 por meio de uma abordagem probabilística (Tavares, et al. 2021).

#### **Mapa de 1965 (IBGE, 1965 - Agrosatélite)**

**Vegetação nativa florestal.** Vegetação nativa arbórea, engloba os elementos de vegetação denominados Floresta, Mata e Bosque (DSG, 1998).

**Vegetação nativa savânica/campestre.** Vegetação nativa arbustiva, compreende os elementos de vegetação denominados Cerrado, Caatinga, Chavascal e Macega (DSG, 1998).

**Área antropizada.** Áreas cuja vegetação não foi classificada como formação florestal nem savânica.

#### **Mapa de 1988, 1998, 2008 e 2018 (MapBiomias, 2020)**

##### **Vegetação nativa florestal (ID's: 3 e 5).**

Nesta categoria, foram incluídas formações florestais do Cerrado, da Mata Atlântica e dos ecossistemas costeiros. As formações florestais da Mata Atlântica englobam as Florestas Ombrófilas Densa, Aberta e Mista, além das Florestas Estacionais Decidual e Semidecidual,

bem como as Formações Pioneiras Arbóreas (MapBiomas, 2020). As formações florestais para o Cerrado são compostas por vegetação predominantemente arbórea com formação de dossel contínuo. Inclui as fitofisionomias associadas a cursos d'água, como a Mata Ciliar e a Mata de Galeria, além da Mata Seca e o Cerradão, que ocorrem nos interflúvios. (Ribeiro e Walter, 1998). E, por fim, há as formações florestais associadas ao ecossistema costeiro de mangue (MapBiomas, 2020).

**Vegetação nativa savânica/campestre (ID's: 4, 11, 12, 13 e 29).** As formações savânicas do Cerrado englobam as diferentes fitofisionomias do Cerrado em sentido restrito (Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre), caracterizado de maneira geral pela presença de vegetação arbórea e arbustiva-herbácea, com árvores distribuídas de maneira aleatória pela paisagem em diferentes densidades; além dos tipos fitofisionômicos Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda (Ribeiro e Walter, 1998). Destacamos que, para o Cerrado, a classificação proposta pelo MapBiomas (2020) considera as fitofisionomias do Cerrado sentido restrito dentro da categoria de “Floresta”. Entretanto, dentro do escopo deste estudo e considerando a história natural das espécies em questão, essas fitofisionomias são melhor interpretadas como savânicas. As formações campestres do Cerrado compreendem o Campo Sujo, o Campo Limpo e o Campo Rupestre (Ribeiro e Walter, 1998).

**Área antropizada (ID's: 9, 15, 20, 21, 24, 25, 30, 39 e 41).** Classes de uso e cobertura do solo que estão ligadas à presença humana. Inclui também áreas que foram degradadas devido à ação humana, áreas de agropecuária, e ainda florestas plantadas para fins comerciais. Ressaltamos que a classificação proposta pelo MapBiomas (2020) considera “Floresta Plantada” dentro da categoria de “Floresta”. Para este estudo não assumimos esta classificação, por entender que esta classe está associada à presença humana. Dentro do escopo de nossas análises, a realocação da classe de “Floresta Plantada” para a categoria de “Área Antropizada” nos permite uma melhor interpretação dos dados.