



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA**  
**BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**MARIA EDUARDA ALVES FERREIRA**

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO E BIOACÚSTICA DE AVES CO-  
DISTRIBUÍDAS EM FLORESTAS ÚMIDAS DA AMÉRICA DO SUL**

**Serra Talhada**

**2022**

**MARIA EDUARDA ALVES FERREIRA**

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO E BIOACÚSTICA DE AVES CO-  
DISTRIBUÍDAS EM FLORESTAS ÚMIDAS DA AMÉRICA DO SUL**

Monografia apresentada no curso de graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como um dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Mendes Fernandes

**Serra Talhada**

**2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F383m      Ferreira, Maria Eduarda Alves  
              Modelagem de distribuição e bioacústica de aves co-distribuídas em florestas úmidas da América do Sul  
              / Maria Eduarda Alves Ferreira. - 2022.  
              51 f. : il.

              Orientador: Alexandre Mendes Fernandes.  
              Inclui referências.

              Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
              Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, 2023.

              1. Aves. 2. Conexões históricas. 3. Florestas úmidas. 4. Biogeografia. I. Fernandes, Alexandre Mendes,  
              orient. II. Título

CDD 574

---

**MARIA EDUARDA ALVES FERREIRA**

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO E BIOACÚSTICA DE AVES CO-  
DISTRIBUÍDAS EM FLORESTAS ÚMIDAS DA AMÉRICA DO SUL**

Monografia apresentada no curso de graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como um dos pré-requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 27/05/2022

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Alexandre Mendes Fernandes

Orientador

(UFRPE - UAST)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Sandra Bastos de Souza

(UFRPE - UAST)

---

Prof. Dr. Edgar Alberto do Espirito Santo Silva

(UFRPE - UAST)

Dedico este trabalho a minha mãe e irmãos.  
Sou muito grata à natureza por ter me dado  
vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a tudo e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para este momento.

Durante esse período contei com o apoio da minha família (de sangue e coração) que através de simples gestos estavam nos bastidores torcendo, incentivando e dando suporte, então, em especial, agradeço a:

Minha mãe, Ana, que sempre se manteve otimista, paciente e capaz de me proporcionar todas as oportunidades possíveis. Obrigada por acreditar e apoiar minhas decisões. Agradeço aos meus irmãos, Vinícius e Iberliny, por toda companhia e suporte sempre. Juntos e com pretinha somos incríveis. Amo vocês. Agradeço também a minha vó Maria, Rita e Mell, que através de vinhos e cafés, foram meu refúgio.

Aos meus amigos de longa data, Allysson Vinícius, Daline, Janaina; aos que tive o prazer de me reconectar, Ericles, e conhecer, Lyvia, Nathalia. Sou grata também a todas outras amizades que fiz durante esse período e com quem compartilhei bons e memoráveis momentos. Sentirei saudades do nosso banco.

Ao meu orientador, Alexandre, por confiar no meu potencial e fornecer todos os meios necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores que tive contato durante o curso e, em especial, aos membros da banca, pelas valiosas contribuições nesse momento final.

Por fim, agradeço as fontes financiadoras dos recursos necessários para realização da pesquisa: Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de PE – FACEPE (bolsa número APQ-0641-2.04/18) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

Gratidão!

## RESUMO

As florestas tropicais úmidas da América do Sul possuem uma história evolutiva um tanto intrigante. É sugerido momentos de expansão e retração dessas florestas em diferentes períodos do tempo, sendo esses momentos cruciais para eventos de dispersão, extinção e especiação das espécies. Estudos com inúmeros táxons co-distribuídos entre a Amazônia e Mata Atlântica, e a existência de refúgios florestais, como os Brejos de Altitude, em meio a Caatinga demonstram a similaridade existente entre essas florestas e evidenciam uma pretérita e recorrente conectividade florestal entre os biomas. Rotas por onde ocorreram tais conexões entre as florestas foram propostas para um melhor entendimento sobre sua dinâmica histórica. Na presente pesquisa, prevemos através da modelagem de distribuição e análise dos caracteres vocais de diferentes espécies de aves co-distribuídas na Amazônia, Mata Atlântica e em fragmentos dessas florestas ao longo do Cerrado e Caatinga (Brejos de Altitude), conexões biogeográficas entre os biomas durante o Último Máximo Glacial (UMG - 21 mil anos - Ka). Além de identificar conexões passadas, esse estudo procurou entender como mudanças climáticas ocorridas do UMG até o futuro podem influenciar na distribuição das espécies. Para isso, modelos de distribuição potencial foram construídos em diferentes cenários, sendo eles passado (UMG-21Ka, Holoceno-6Ka), Presente (1970-2000) e Futuro (2070); e parâmetros vocais das espécies suboscines e oscines foram analisados. Os resultados da modelagem para o UMG identificaram conexões entre Amazônia e Mata Atlântica através das regiões mais ao sul do país, suportando a rota SE-NW, e através da Caatinga, pela rota NE. Ambas as vias de conexão podem ter desempenhado um importante papel na dispersão dos táxons entre os biomas. A análise vocal não encontrou diferença entre as vocalizações das espécies e os distintos ambientes, sugerindo dessa forma conexões recentes entre as florestas e contato entre as populações de modo que o tempo de separação entre Amazônia e Mata Atlântica não foi suficiente para distingui-las vocalmente. Para o futuro, os modelos indicam retração de áreas adequadas para a ocorrência das espécies. Esse resultado serve de alerta para ações que visem à conservação dos biomas e das aves que ocorrem em ambientes florestais.

**Palavras-chave:** aves; conexões históricas; florestas úmidas; biogeografia.

## ABSTRACT

The tropical rainforests of South America have a somewhat intriguing evolutionary history. Moments of expansion and retraction of these forests at different periods of time are suggested to be crucial for species dispersal, extinction, and speciation events. Studies with numerous taxa co-distributed between the Amazon and Atlantic Forest, and the existence of forest refugia, such as the Brejos de Altitude, in the middle of the Caatinga demonstrate the existing similarity between these forests and evidence a past and recurrent forest connectivity between the biomes. Routes through which such connections between forests have occurred have been proposed for a better understanding of their historical dynamics. In the present research, we predicted, through distribution modeling and analysis of vocal characters of different bird species co-distributed in the Amazon, Atlantic Forest and in fragments of these forests along the Cerrado and Caatinga (Brejos de Altitude), biogeographic connections between the biomes during the Last Glacial Maximum (UMG - 21 thousand years - Ka). In addition to identifying past connections, this study sought to understand how climate changes that occurred from the UMG into the future may influence the distribution of species. To do so, potential distribution models were built in different scenarios, being past (UMG-21Ka, Holocene-6Ka), Present (1970-2000) and Future (2070); and vocal parameters of suboscine and oscine species were analyzed. Modeling results for the UMG identified connections between Amazon and Atlantic Forest through the southernmost regions of the country, supporting the SE-NW route, and through Caatinga, via the NE route. Both connection routes may have played an important role in the dispersal of taxa between the biomes. Vocal analysis found no difference between the vocalizations of the species and the different environments, thus suggesting recent connections between forests and contact between populations so that the time of separation between Amazon and Atlantic Forest was not enough to distinguish them vocally. For the future, the models indicate shrinking areas suitable for the occurrence of the species. This result serves as a warning for actions aimed at the conservation of biomes and birds that occur in forest environments.

**Keywords:** birds; historical connections; wet forests; biogeography.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	13
<b>2.1</b> MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES .....	13
<b>2.2</b> BIOACÚSTICA .....	14
<b>2.3</b> CONEXÕES HISTÓRICAS ENTRE AS FLORESTAS TROPICAIS ÚMIDAS DA AMÉRICA DO SUL.....	15
<b>2.4</b> AVES COMO MODELOS DE ESTUDO .....	18
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
<b>3.1</b> ESPÉCIES SELECIONADAS.....	19
<b>3.2</b> BANCO DE DADOS.....	19
<b>3.3</b> MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES .....	20
<b>3.4</b> VARIAÇÃO DE ÁREA .....	21
<b>3.5</b> BIOACÚSTICA .....	21
<b>4. RESULTADOS</b> .....	23
<b>4.1</b> MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES.....	23
<b>4.2</b> BIOACÚSTICA .....	30
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	36
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	41
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	42

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Espécies selecionadas para a pesquisa .....	19
<b>Tabela 2</b> - Variação de área entre o UMG, Holoceno e Presente a partir dos mapas de áreas de presença e ausência das espécies.....	28
<b>Tabela 3</b> - P-valor de acordo com o teste estatístico ANOVA .....	35
<b>Tabela 4</b> - Diferença de média entre as frequências de <i>Z. acer</i> na Amazônia e Mata Atlântica, com p-valor <0,05 de acordo com o Teste de Tukey.....	35

## LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1** - Registros locais de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) utilizados na construção dos modelos de distribuição das espécies.....23
- Figura 2** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o UMG (21Ka).....24
- Figura 3** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o Holoceno (6Ka) .....25
- Figura 4** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o Presente (1970-2000) .....26
- Figura 5** - Áreas de presença e ausência de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) durante o UMG, Holoceno e Presente .....27
- Figura 6** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o Futuro (2070) .....29
- Figura 7** - Registros locais de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) utilizados na análise vocal.....30
- Figura 8** - Parâmetros vocais de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) em uma PCA .....31

## 1. INTRODUÇÃO

A existência de um corredor florestal pretérito entre as florestas tropicais úmidas da América do Sul (Amazônia – AM e Mata Atlântica - MA) é sugerido por diversos trabalhos utilizando tanto grupos faunísticos como florísticos. Estudos biogeográficos com táxons que apresentam distribuição disjunta entre AM e MA (COSTA, 2003; SANTOS et al., 2007; LOURENÇO, 2010; BATALHA-FILHO et al., 2013; CABANNE et al., 2016; CAPURUCHO et al., 2018; OLIVEIRA, 2019; DO NASCIMENTO et al., 2021), bem como a presença das matas serranas, popularmente conhecidas como Brejos de Altitude, em meio a Caatinga, demonstram que AM e MA compartilham entre si bastante similaridade, mesmo estando limitadas pelo corredor seco da diagonal seca, formado pela Caatinga, Cerrado e Chaco (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995). Embora a diagonal atue como uma importante barreira biogeográfica entre os táxons florestais, diversos estudos suportam conexões entre os biomas que possibilitaram o intercâmbio de espécies.

É sugerido que as conexões entre AM e MA foram recorrentes ao longo do tempo geológico. O corredor de conexão mais antigo relatado entre as florestas foi durante o Mioceno (22 milhões de anos), enquanto o contato mais recente ocorreu no Último Máximo Glacial, durante o Pleistoceno (21 mil anos). Essa conectividade florestal foi impulsionada por eventos tectônicos e flutuações climáticas (BATALHA-FILHO et al., 2013) que desencadearam vários ciclos de expansão e contração florestal (SOBRAL-SOUZA et al., 2015; LEDO; COLLI, 2017; ARRUDA et al., 2018).

Batalha-Filho et al., (2013) ao analisar contatos históricos entre a Amazônia e a Mata Atlântica a partir de dados filogenéticos e de distribuição geográfica de pássaros suboscines sugeriram que a conexão do Mioceno teria ocorrido entre o Cerrado e Chaco, enquanto o contato durante o Pleistoceno teria ocorrido pela Caatinga. Para as diferentes regiões, diferentes rotas foram propostas, das quais destacam-se as rotas NE (DE OLIVEIRA et al., 1999), que teriam ocorrido pelo nordeste brasileiro, unindo a Mata Atlântica ao leste amazônico pela região costeira da Caatinga e na região de contato entre Caatinga e Cerrado; e rota SE-NW (BIGARELLA et al., 1975), que teria ocorrido através das regiões sudeste e centro-oeste, conectando o oeste da Amazônia ao sudeste da Mata Atlântica. A ocorrência de ambas as rotas de conexão é apoiada por registros fósseis, estudos filogeográficos e biogeográficos, como os táxons co-distribuídos e a presença dos Brejos de Altitude

(COLINVAUX et al., 1996, 2000; DE OLIVEIRA et al., 1999; COSTA, 2003; BUSH; OLIVEIRA, 2006; SANTOS et al., 2007; BATALHA-FILHO et al., 2013; CHENG et al., 2013; LEITE et al., 2016; DAL VECHIO et al., 2018).

Essas pretéritas conexões podem explicar a distribuição atual de espécies cujas faixas abrangem as florestas úmidas mas não as áreas abertas da diagonal seca, sendo assim, uma forma de investigar tais conexões e a direção destas é através do estudo da distribuição de espécies, uma vez que seus padrões de distribuição são determinados em grande parte por mudanças do clima e refletem processos históricos. O uso da modelagem de distribuição, método que tem se destacado por prever a distribuição de determinada espécie em diferentes períodos do tempo com base em características ambientais (DALAPICOLLA, 2016), somado ao estudo da bioacústica de aves, que permite analisar possíveis variações vocais entre populações de espécies co-distribuídas, são ferramentas cruciais e que possibilitam investigar a dinâmica histórica que envolve as florestas tropicais úmidas da América do Sul.

Conhecer a distribuição passada e os principais processos que influenciaram a distribuição atual das espécies possibilita inferir sobre a distribuição futura, e assim identificar como as espécies e o ambiente podem ser afetados pelas mudanças climáticas, o que permite se antecipar e desenvolver estratégias eficazes de manejo e conservação frente a essas mudanças. Desta forma, através de modelos de distribuição potencial e análise dos caracteres vocais das espécies, a presente pesquisa investigou as históricas conexões entre as florestas tropicais úmidas da América do Sul durante o UMG, bem como a distribuição das espécies pode ser afetada em cenários de mudanças climáticas. Para isso, foi modelado a distribuição em diferentes períodos do tempo (passado, presente, futuro) e analisado os caracteres vocais de diferentes espécies de aves co-distribuídas na Amazônia, Mata Atlântica e em fragmentos dessas florestas ao longo do Cerrado e Caatinga (Brejos de Altitude).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 GERAL**

Investigar, através de modelos de distribuição potencial e caracteres vocais de diferentes espécies de aves co-distribuídas na Amazônia e Mata Atlântica, como

as mudanças climáticas ocorridas desde o Último Máximo Glacial determinaram padrões de distribuição de aves Neotropicais.

### **1.2.2 ESPECÍFICOS**

- Analisar se há variação vocal significativa entre as populações dos diferentes biomas;
- Investigar possíveis rotas de conexão entre Amazônia e Mata Atlântica a partir dos modelos de distribuição;
- Prever como as espécies podem ser afetadas pelas mudanças climáticas futuras a partir dos modelos de distribuição;
- Sugerir estratégias de conservação de aves para os diferentes biomas estudados.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES**

A Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE) é um método que recebe destaque em diversas linhas de estudo por permitir prever a distribuição de determinada espécie tendo como base características ambientais (DALAPICOLLA, 2016). Essa inferência pode ser realizada em diferentes períodos do tempo (passado, presente, futuro), sendo esse um dos principais motivos associados ao amplo uso da ferramenta, além dos crescentes avanços tecnológicos que permitem o desenvolvimento constante do método e sua contínua aplicação (GIANNINI et al., 2012).

Os requisitos para a MDE é o uso de dados georreferenciados que refletem a presença e/ou ausência da espécie, associados ao uso de variáveis ambientais (CARVALHO et al., 2019). Suas etapas principais consistem em: tratamento dos pontos de ocorrência das espécies, tratamento e escolha das camadas ambientais, escolha dos algoritmos de modelagem e avaliação dos modelos gerados (GIANNINI et al., 2012). Ao fim do processo é gerado uma representação (modelo/mapa) das áreas potenciais que apresentam as condições requeridas pela espécie para sua ocorrência.

Dentre as opções de algoritmos, os de aprendizagem de máquina (machine learning) (Redes Neurais Artificiais - RNA, Árvores de Decisão - CART, Random Forest - RF, Suport Vector Machine - SVM, Máxima Entropia - Maxent) recebem destaque (PAGLIA et al., 2012; MEROW et al., 2014), sendo a escolha do algoritmo mais adequado de acordo com os objetivos do estudo e tipos de dados a serem usados. O algoritmo Maxent estima a distribuição de probabilidade da espécie encontrando a distribuição da máxima entropia, que é a mais próxima da distribuição real (PHILLIPS et al., 2006); este algoritmo é amplamente utilizado na comunidade científica por não necessitar de dados de ausência, uma vez que esses dados são mais complexos para se obter e não estão disponíveis para a maioria das espécies (PHILLIPS et al., 2006), e por apresentar bom desempenho ao criar um modelo de distribuição provável próximo do real, mesmo com poucos dados de distribuição.

## 2.2 BIOACÚSTICA

A bioacústica é uma ciência multidisciplinar que se propõe a estudar os animais através dos seus sinais sonoros. Nas aves, a vocalização é possível devido à siringe, órgão específico localizado na extremidade inferior da traqueia, no qual o som é emitido através da vibração de uma membrana timpaniforme medial situada entre a bifurcação da siringe (RAPOSO et al., 2006). De acordo com os aspectos e funções, o repertório vocal das aves é classificado em dois tipos: chamado, que tem como característica um som curto e simples, geralmente formado por um tipo de sílaba. Reproduzido por ambos os sexos, os chamados são usados durante todo o ano e estão associados a contextos de comunicação social e defesa de território (MARLER, 2004; BRUMM; ZOLLINGER, 2013). Em contraste, o canto é um som longo e complexo, geralmente emitido apenas por machos. Ligado à reprodução, o canto pode ocorrer apenas em momentos específicos, levando em consideração o carácter sazonal de reprodução de muitas espécies (BRUMM; ZOLLINGER, 2013).

Dentre as vocalizações, elas ainda podem ser de duas naturezas: aprendida ou inata. As espécies de natureza aprendida possuem um tutor que transmite o modelo da vocalização; os passeriformes oscines (subordem Passeri), papagaios (ordem Psittaciformes) e beija-flores (família Trochilidae) compõem esse grupo. As espécies de vocalização inata, também chamada de estereotipada, não necessitam de um tutor já que o modelo é determinado pela genética e desenvolve-se

naturalmente; passeriformes suboscines (subordem Tyranni) e os demais não passeriformes fazem parte do grupo (SILVA; VIELLIARD, 2011; TOUCHTON et al., 2014).

Em estudos de bioacústica de aves, as espécies oscines são as mais estudadas, uma vez que possíveis variações vocais podem ser explicadas pelos diferentes fatores externos enfrentados pelas populações (GRANT; GRANT, 1979; LACHLAN; SLATER, 2003; SILVA; VIELLIARD, 2011), no entanto, estudar as características vocais de espécies suboscines é de extrema importância também, já que variações vocais podem significar alterações genéticas que podem resultar em especiação (RHEINDT et al., 2008; SOSA-LÓPEZ et al., 2013). Os sinais sonoros das aves fornecem informações profundas sobre as relações filogenéticas intra e interespecíficas, e sobre o ambiente em que estas estão inseridas.

### 2.3 CONEXÕES HISTÓRICAS ENTRE AS FLORESTAS TROPICAIS ÚMIDAS DA AMÉRICA DO SUL

Na América do Sul, a Amazônia (AM) e a Mata Atlântica (MA) possuem destaque devido os elevados índices de biodiversidade. Caracterizadas como florestas tropicais úmidas, a AM e MA são florestas extremamente complexas e diversificadas, formadas por mosaicos de fitofisionomias distintas que compartilham bastante particularidades e similaridades (CAVALCANTI; TABARELLI, 2004), principalmente em relação às elevadas taxas de diversidade e endemismo (MARINI; GARCIA, 2005). A história dessas florestas, assim como das demais florestas tropicais úmidas (África - bacia do Rio Congo, Ásia - ilhas do sudeste (Indonésia), ilhas de Madagascar e Nova Guiné) é antiga, datada de 400 milhões de anos atrás, quando eram interconectadas no supercontinente Gondwana (SOBRAL-SOUZA; LIMA-RIBEIRO, 2017). Em consequência das sucessivas mudanças paleogeográficas globais, a Amazônia está atualmente separada da Mata Atlântica entre o noroeste, leste e sudeste, através da diagonal seca, região formada por vegetação xérica e aberta, composta pela Caatinga, Cerrado e Chaco (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995). Embora a diagonal atue como uma importante e significativa barreira biogeográfica entre as florestas úmidas, há indicativo de que em períodos passados essas florestas estiveram conectadas por esta mesma região.



Evidências atuais reforçam a hipótese de conexões passadas entre a Amazônia e Mata Atlântica, e entre elas destacam-se: (I) grande semelhança de espécies entre as florestas. Estudos filogeográficos com espécies que apresentam distribuição disjunta entre AM e MA demonstram divergência entre as linhagens que ocorrem em uma mesma floresta e indicam maior proximidade com uma floresta distante. Estudos com mamíferos, répteis, anfíbios, aves e plantas (COSTA, 2003; TCHAICKA et al., 2007; PELLEGRINO et al., 2005; THOMÉ et al., 2010; DO NASCIMENTO et al., 2021; SANTOS et al., 2007) verificaram que as espécies que ocorrem no norte da Mata Atlântica não são irmãs das que ocorrem na porção sul dessa floresta e são mais aparentadas as da Amazônia. Costa (2003) ao analisar mamíferos marsupiais e roedores distribuídos disjuntamente entre essas florestas demonstrou uma maior proximidade entre as espécies da porção norte da MA e leste da AM, da mesma forma que uma proximidade entre o oeste da AM e sul da MA foi suportada. Dessa forma, além da proximidade genética, o compartilhamento disjunto de espécies entre as florestas pode ser explicado pela existência de vínculos florestais passados que permitiram a dispersão, contato e a troca biótica entre as populações; (II) a existência de matas serranas, popularmente conhecidas como Brejos de Altitude, em meio a Caatinga. Os Brejos de Altitude são enclaves de Mata Atlântica em regiões de altitude, umidade e temperaturas privilegiadas, localizadas dentro do semiárido (AB'SÁBER, 1999; ANDRADE-LIMA, 2007). Embora bastante próximas geograficamente, as formações dos Brejos e da Caatinga se diferenciam em características climáticas, edáficas, topográficas, florísticas e fisionômicas (FERRAZ et al., 1998). Composto por espécies mais comuns às florestas úmidas, os Brejos são considerados relíquias de um passado de conexão entre a AM e MA, no qual sua origem é associada às flutuações climáticas do Quaternário, que possuiu fases glaciais e interglaciais (BIGARELLA, 1971). Segundo a hipótese dos refúgios, a alternância de fases glaciais e interglaciais favoreceram a contração e expansão, respectivamente, das florestas. Em momentos de expansão, a Amazônia e Mata Atlântica formaram um corredor de conexão, e em um momento posterior, quando retraíram, foram isoladas em refúgios, locais de condições favoráveis à sua ocorrência (HAFFER, 1969), sendo esses refúgios importantes locais para a especiação. No entanto, um número substancial de estudos contrapõe a ideia de contração das florestas durante as glaciações e indicam expansão da Amazônia e Mata Atlântica nesses períodos (COLINVAUX et al., 1996, 2000; BUSH; OLIVEIRA, 2006; SANTOS

et al., 2007; THOMÉ et al., 2010; BATALHA-FILHO et al., 2013; CARNAVAL et al., 2014; LEITE et al. 2016; SOBRAL-SOUZA et al., 2015; CABANNE et al., 2016; LEDO; COLLI, 2017; CAPURUCHO et al., 2018; COSTA et al., 2018; ARRUDA et al., 2018; DAL VECHIO et al., 2018; RANGEL et al., 2018; SILVEIRA et al., 2019).

Contrariando a ideia de aridez severa devido às baixas temperaturas, as eras glaciais foram tempos de resfriamento em que ocorreram eventos quentes, secos e úmidos (BUSH; OLIVEIRA, 2006) com predominância de condições mais úmidas durante a última glaciação do Pleistoceno (Último Máximo Glacial - UMG, 21 mil anos) (PESSENDA et al., 2009; LEDO; COLLI, 2017; NOVELLO et al., 2017). Além das reconstruções climáticas, estudos paleopalinológicos e espeleotemáticos também suportam condições mais frias e úmidas durante o UMG, de forma favorável a expansão das florestas úmidas (COLINVAUX et al., 1996, 2000; BUSH; OLIVEIRA, 2006; LEDO; COLLI, 2017).

É sugerido que a expansão florestal e consequente conectividade entre a Amazônia e Mata Atlântica foram recorrentes ao longo do tempo geológico e impulsionadas por diferentes fatores, como eventos tectônicos e flutuações climáticas (BATALHA-FILHO et al., 2013). O primeiro momento e mais antigo de conexão entre as florestas é relatado durante o Mioceno (22 milhões de anos) (BATALHA-FILHO et al., 2013), causado pelo choque entre as Placas de Nazca e Sul-americana, que ocasionou o soerguimento andino (MORA et al., 2010) e este foi responsável por mudanças drásticas no regime climático da região. O outro momento de contato, mais recente, ocorreu no fim do Pleistoceno, durante o Último Máximo Glacial, devido às flutuações climáticas que impulsionaram a expansão das florestas (SOBRAL-SOUZA et al., 2015; LEDO; COLLI, 2017; ARRUDA et al., 2018).

De acordo com a literatura, quatro possíveis rotas foram propostas para explicar as conexões históricas entre a Amazônia e a Mata Atlântica: duas rotas pelo nordeste (DE OLIVEIRA et al., 1999), denominadas rotas NE (LEDO; COLLI, 2017), elas teriam ocorrido ao longo da região costeira da Caatinga e pelo seu interior, na região de contato com o Cerrado; rota pelo Cerrado, através do Brasil Central (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995), e rota SE-NW (BIGARELLA et al., 1975) no sul do Cerrado, sugerida por conectar o sudeste da MA ao noroeste da AM. Essas rotas, corroboradas por estudos paleoecológicos, filogeográficos e biogeográficos, como os táxons co-distribuídos e a presença dos Brejos de Altitude (RIZZINI, 1963; OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995; COLINVAUX et al., 1996, 2000; DE OLIVEIRA et al., 1999;

COSTA, 2003; BUSH; OLIVEIRA, 2006; SANTOS et al., 2007; BATALHA-FILHO et al., 2013; CHENG et al., 2013; LEITE et al., 2016; DAL VECHIO et al., 2018), através da expansão e extensão das matas de galeria, podem ter ocorrido como um corredor florestal contínuo ou como uma série de manchas florestais (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995) que surgiram devido à expansão e deslocamento das condições climáticas da AM e MA (SOBRAL-SOUZA et al., 2015). Batalha-Filho et al., (2013) ao analisar os contatos históricos entre as florestas a partir de dados filogenéticos e de distribuição geográfica de pássaros suboscines sugeriram que a conexão do Mioceno teria ocorrido entre o Cerrado e Chaco, enquanto o contato durante o Pleistoceno teria ocorrido pelo nordeste, sendo assim, a rota SE-NW é caracterizada como uma rota mais antiga, estabelecida em outros eventos históricos, enquanto as rotas NE são mais recentes e segundo os autores, possivelmente desempenharam um menor papel nas conexões.

## 2.4 AVES COMO MODELOS DE ESTUDO

A América do Sul é detentora de grande diversidade de espécies e se tratando da avifauna, esta região é considerada a mais rica do mundo por abrigar cerca de 3.200 espécies (FARIAS, 2004). Destas, mais de 60% (1.982) são registradas no Brasil (PACHECO et al., 2021), no qual a Amazônia e Mata Atlântica recebem destaque por abrigar a maior riqueza (MARINI; GARCIA, 2005).

Além da grande abundância por todo o território, a avifauna é tida como um excelente grupo modelo para estudos por ocupar variados habitats, possuir diversidade no hábito alimentar, comportamental e serem bons bioindicadores do ambiente, já que podem ser sensíveis a mínimas alterações do habitat (BATALHA-FILHO, 2012); além de possuírem uma longa e relativa história evolutiva conhecida, que permite explorar novas hipóteses e fornecer dados para inferências biogeográficas.

As espécies aqui analisadas, pertencentes às ordens Passeriforme e Apodiforme, habitam florestas úmidas e fragmentos dessas florestas na América do Sul. Seu padrão disjunto de distribuição reforça a ideia de processos históricos e dessa forma, estas são apropriadas para investigar as históricas conexões entre a Amazônia e a Mata Atlântica.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ESPÉCIES SELECIONADAS

**Tabela 1** – Espécies selecionadas para a pesquisa

Espécie	Subespécies	Ordem	Família	Nome Popular
<i>Attila spadiceus</i>	12	Passeriforme (Suboscine)	Tyrannidae	Capitão-de-saíra-amarelo
<i>Caryothraustes canadensis</i>	4	Passeriforme (Oscine)	Cardinalidae	Furriel
<i>Glaucis hirsutus</i>	2	Apodiforme (Oscine)	Trochilidae	Beija-flor-besourão
<i>Manacus manacus</i>	15	Passeriforme (Suboscine)	Pipridae	Rendeira
<i>Pachyramphus marginatus</i>	2	Passeriforme (Suboscine)	Tityridae	Caneleiro-bordado
<i>Xenops minutus</i>	10	Passeriforme (Suboscine)	Xenopidae	Bico-virado-miúdo
<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	8	Passeriforme (Suboscine)	Dendrocolaptidae	Arapaçu-de-garganta-amarela
<i>Zimmerius acer</i>	0	Passeriforme (Suboscine)	Tyrannidae	Poaieiro-da-guiana

Fonte: WALTHER, 2020; BREWER, 2020; HINKELMANN et al., 2020; TU et al., 2020; MOBLEY, 2020; DECKER, 2020; MARANTZ et al., 2020; DEL HOYO et al., 2020

Encontradas em florestas úmidas, estas espécies (Tabela 1) estão co-distribuídas na Amazônia, Mata Atlântica e em fragmentos dessas florestas ao longo do Cerrado e Caatinga (Brejos de Altitude); esse padrão de distribuição reforça a ideia de que a diagonal seca desempenha um importante papel na conexão dos biomas.

#### 3.2 BANCO DE DADOS

Registros de ocorrência e vocais das espécies foram obtidos da coleção científica de aves do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP), e da literatura (TONETTI et al., 2017), com dados provenientes do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e Museu Field de História Natural (FMNH), e através do banco

de dados de registros vocais de aves em formato digital, Xeno-Canto (<https://www.xeno-canto.org/>), site que disponibiliza gravações de cantos de aves realizados por ornitólogos e observadores de aves. Somente registros confiáveis foram utilizados, com identificação da espécie por meio de exemplares tombados em coleções zoológicas, sequências de DNA e vocalizações. Todos os registros obtidos possuem a ocorrência georreferenciada e passaram por uma filtragem para obter a maior veracidade dos dados.

### 3.3 MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES

Na base de dados WorldClim (<https://www.worldclim.org/>) (HIJMANS et al., 2005; FICK; HIJMANS, 2017) as variáveis bioclimáticas para o passado (Último Máximo Glacial - 21 mil anos, Holoceno - 6 mil anos), Presente (1970-2000) e Futuro (2070) foram obtidas com resolução espacial de 2,5 arc minutos (4,5km por pixels). Com base nos cenários de emissão de gases do efeito estufa do CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) disponibilizados pelas projeções climáticas do Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (AR5 IPCC), para a construção dos modelos no Futuro (2070) foi escolhida a via de concentração representativa mais pessimista dentre todas, RCP 8.5, levando em consideração as altas emissões dos gases e a falta de estratégias adotadas para a redução do efeito estufa.

Inicialmente foram consideradas as 19 variáveis bioclimáticas desenvolvidas pelo BIOCLIM em 1996 (BOOTH et al., 2014) e disponibilizadas pelo WorldClim (<https://www.worldclim.org/>) para os procedimentos de modelagem. Utilizando como recorte a América do Sul, as variáveis que mais contribuem para a distribuição das espécies foram selecionadas através de uma matriz de correlação. Variáveis altamente correlacionadas, com valores maiores que 0,8 foram excluídas da análise para evitar redundância nos modelos. Após o procedimento foram selecionadas 9 variáveis, sendo elas: BIO1 (temperatura média anual), BIO2 (intervalo diurno médio (média do mês (temperatura máxima - temperatura mín))), BIO3 (isotermalidade), BIO7 (faixa anual de temperatura), BIO12 (precipitação anual), BIO14 (precipitação do mês mais seco), BIO15 (sazonalidade de precipitação), BIO18 (precipitação do quarto mais quente) e BIO19 (precipitação do trimestre mais frio).

O procedimento de modelagem foi realizado com o programa R 4.1 (R CORE

TEAM, 2021). Nesta plataforma foi utilizado o algoritmo Maxent (Maximum Entropy Machine-Learning Algorithm) para gerar os modelos de distribuição das espécies. Esse algoritmo, através de associações de dados climáticos e de presença da espécie, estima a distribuição de probabilidades mais próxima da distribuição real (PHILLIPS et al., 2006), dessa forma, as 9 variáveis preditoras foram combinadas aos registros de ocorrência das espécies, previamente tratados e sem duplicatas, para gerar os modelos de distribuição.

Os modelos finais de distribuição das espécies foram avaliados com base na área sob a curva (AUC) da característica operacional do receptor (ROC). Os valores da AUC são interpretados como:  $0,6 \geq AUC > 0,5$  (fraco),  $0,7 \geq AUC > 0,6$  (ruim, mas aceitável),  $0,8 \geq AUC > 0,7$  (bom),  $0,9 \geq AUC > 0,8$  (excelente) e  $AUC > 0,9$  (excepcional) (YANG; BERDINE, 2017). Em nossos resultados, os valores variaram a partir de  $AUC > 0,85$  em todos os modelos finais gerados, indicando como excelente a qualidade destes em prever a probabilidade de ocorrência das espécies. Ao total, foram gerados 32 modelos de distribuição, 1 para cada espécie, levando em consideração os 4 cenários climáticos distintos. Os resultados foram tratados no QGIS 2.18 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017) para análises posteriores.

### 3.4 VARIAÇÃO DE ÁREA

No QGIS 2.18 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2017) foi calculado a área de ocorrência das espécies durante o Último Máximo Glacial, Holoceno e Presente, a fim de observar eventos de expansão, retração ou constância das áreas ao longo do tempo. Usando o `r.recode` do GRASS no QGIS o modelo de distribuição foi classificado em áreas que representam a presença e ausência da espécie, posteriormente, com o `r.report`, foi gerado um relatório de estatísticas de área para rasters, com os respectivos valores em  $\text{km}^2$  de presença e ausência da espécie.

### 3.5 BIOACÚSTICA

Apenas registros vocais com boa qualidade sonora e que não apresentaram distorções, como a sobreposição da vocalização de outras espécies ou ruídos, foram utilizados. Quanto ao tipo de vocalização, foram analisados chamados, em virtude da

maior abundância de dados. Os chamados foram analisados e definidos através de suas frequências (máxima - Max Freq - Hz e central - Center Freq - Hz), amplitudes (máxima - Max Amp - U e mínima - Min Amp - U) e duração (Delta Time - s), que correspondem as propriedades básicas de um som (MARQUES, 2008). As edições e medições dos parâmetros acústicos foram realizadas nos programas Audacity 3.1 (AUDACITY TEAM, 2021) e Raven Pro 1.6 (K. LISA YANG CENTER FOR CONSERVATION BIOACOUSTICS, 2022).

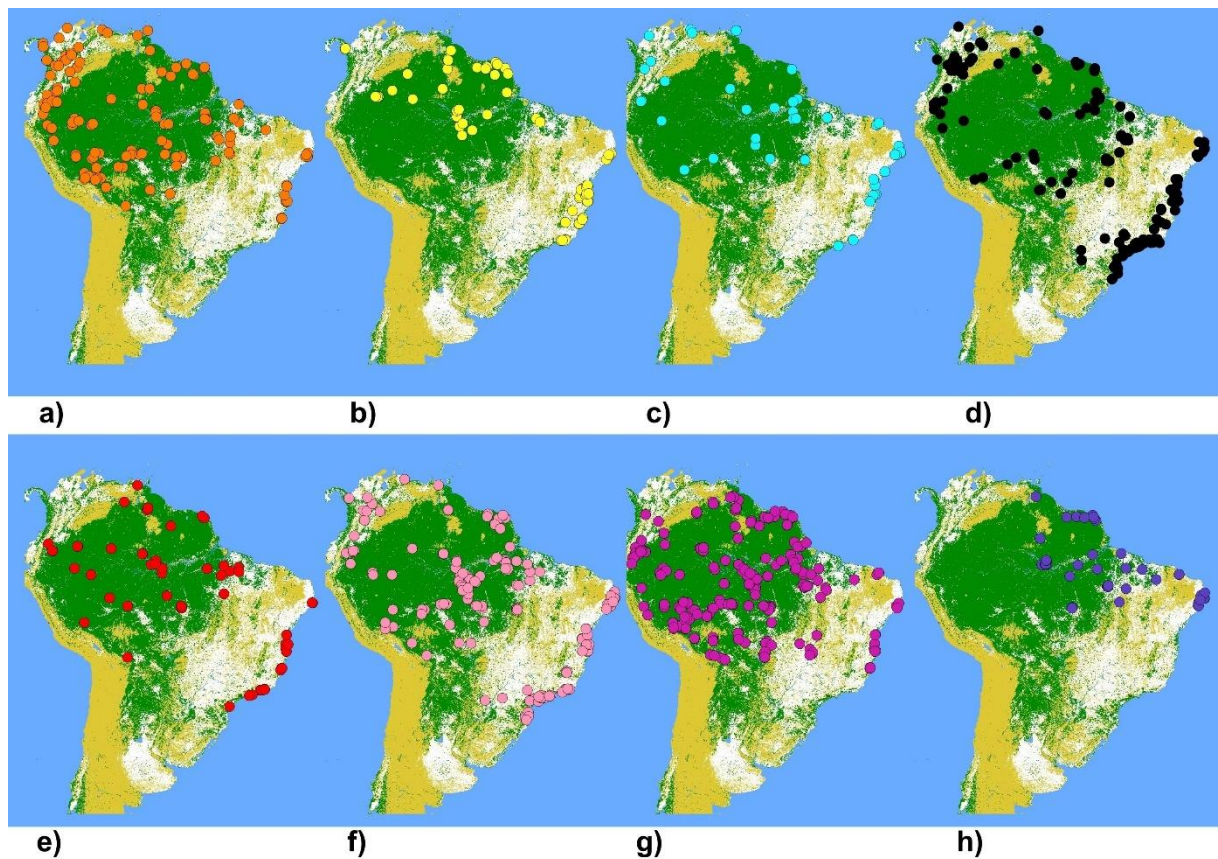
Os parâmetros vocais foram padronizados e aplicados em uma Análise de Componentes Principais (PCA) realizada no RStudio (RSTUDIO TEAM, 2022), com divisões por região: AM Leste, AM Oeste, MA Norte, Ma Norte - Brejo de Altitude e MA Sul; essa divisão teve como base o rio Doce para a Mata Atlântica e os rios Negro, Amazonas e Madeira para a Amazônia (BRAGA, 1979; SOBRAL-SOUZA et al., 2015) e foi adotada em virtude das pretéritas conexões entre as florestas ocorrerem entre o leste e oeste da Amazônia e norte e sul da Mata Atlântica.

Partindo do ponto de que as espécies com vocalizações similares utilizam frequências próximas (DIAS, 2013) e que em ambientes diferentes as aves podem usar frequências diferentes (MORTON, 1975; BONCORAGLIO; SAINO, 2007), para avaliar possíveis distinções vocais entre as populações das espécies distribuídas alopatriicamente, a frequência central (Center Freq - Hz) foi escolhida para as análises estatísticas, uma vez que esta reflete o valor médio das frequências analisadas. Tal parâmetro vocal passou por o teste Shapiro-Wilk ( $p$ -valor $>0,05$ ) para verificar se estes se adequavam aos pressupostos da normalidade. Com os dados normais, para estabelecer possíveis diferenças entre as vocalizações e as regiões, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) com o intuito de identificar se há diferença significativa ( $p<0,05$ ) ou não ( $p \geq 0,05$ ) entre as frequências. O Teste de Tukey foi empregado em casos de  $p$ -valor significativo na ANOVA, uma vez que este teste compara todos os possíveis pares de médias e se baseia na diferença significativa apresentada (OLIVEIRA, 2008). Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa PAST (HAMMER et al., 2001).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES

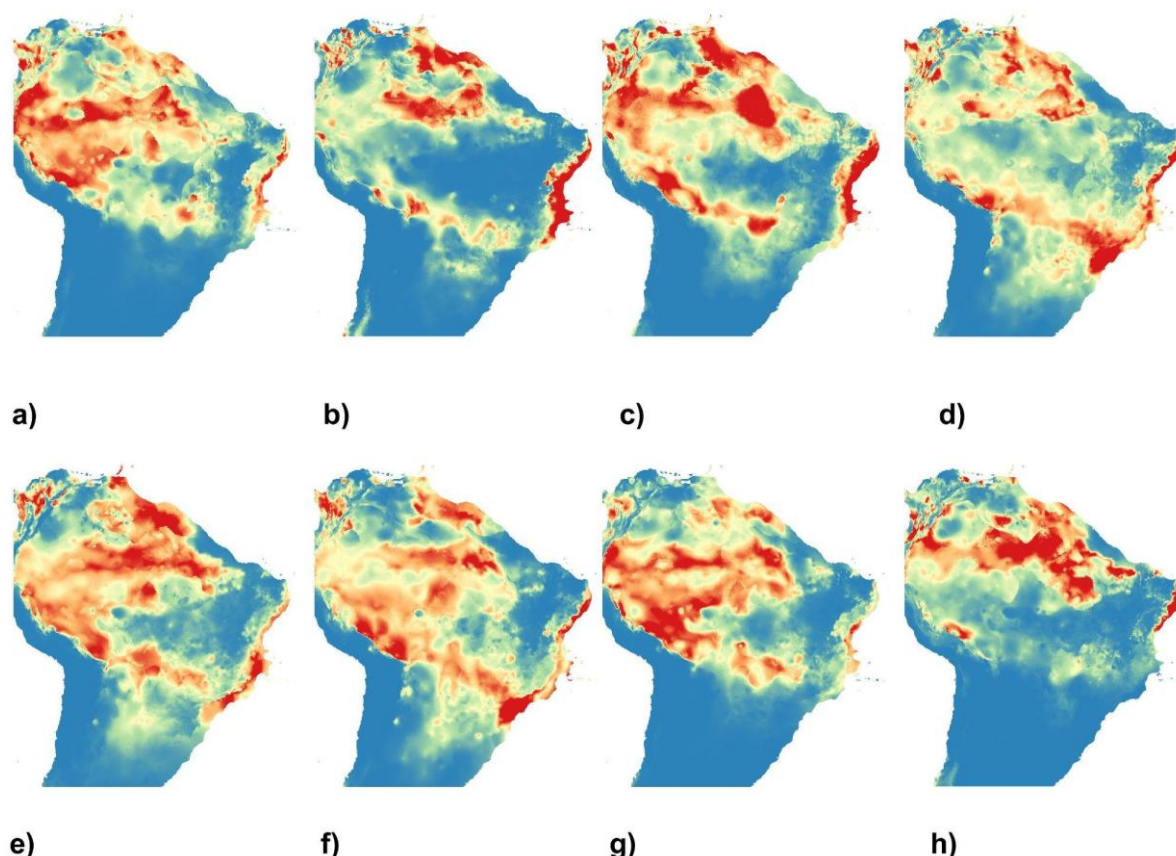
Para a modelagem foram utilizados 1.025 registros devidamente filtrados, sendo 154 pontos de ocorrência para *A. spadiceus*, 89 para *C. canadensis*, 54 para *G. hirsutus*, 189 para *M. manacus*, 63 para *P. marginatus*, 177 para *X. minutus*, 249 para *X. guttatus* e 50 para *Z. acer* (Figura 1). Essa distribuição abrange áreas na Amazônia, Mata Atlântica e em fragmentos dessas florestas ao longo do Cerrado e Caatinga (Brejos de Altitude).



**Figura 1** - Registros locais de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) utilizados na construção dos modelos de distribuição das espécies

Fonte: Autor

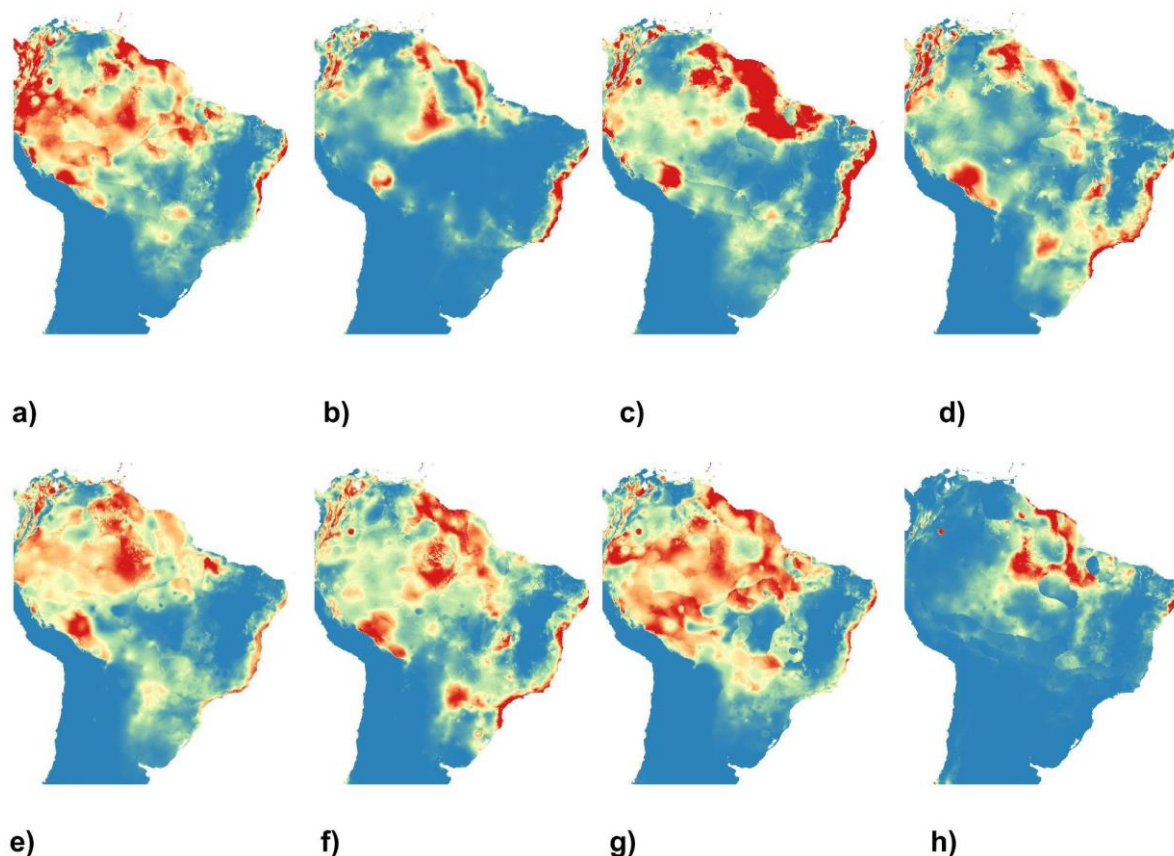




**Figura 2** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o UMG (21Ka)  
 Fonte: Autor

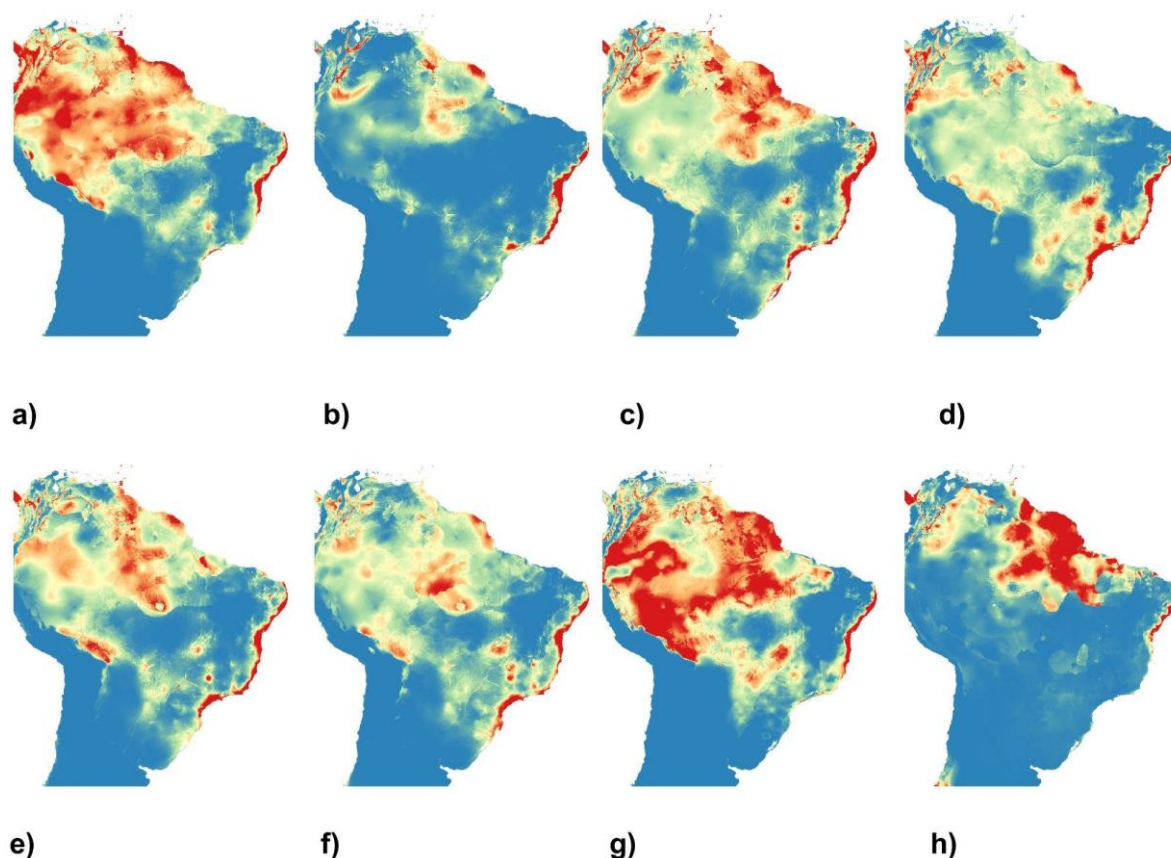
Os modelos de distribuição para o Último Máximo Glacial indicam grande parte do Brasil como área apropriada para a ocorrência das espécies (Figura 2). A Amazônia e Mata Atlântica mostraram-se grandes áreas potenciais ao serem bem destacadas nos modelos, assim como o sul do Cerrado e algumas áreas na Caatinga, que aparecem em evidência também e indicam sua significância como locais adequados para a ocorrência das espécies.

A expansão na distribuição das espécies prevista nesse cenário climático demonstra a existência de contato entre as populações que ocorrem na Amazônia e Mata Atlântica, sendo esse contato ao longo das regiões sudeste, centro-oeste e nordeste do país.



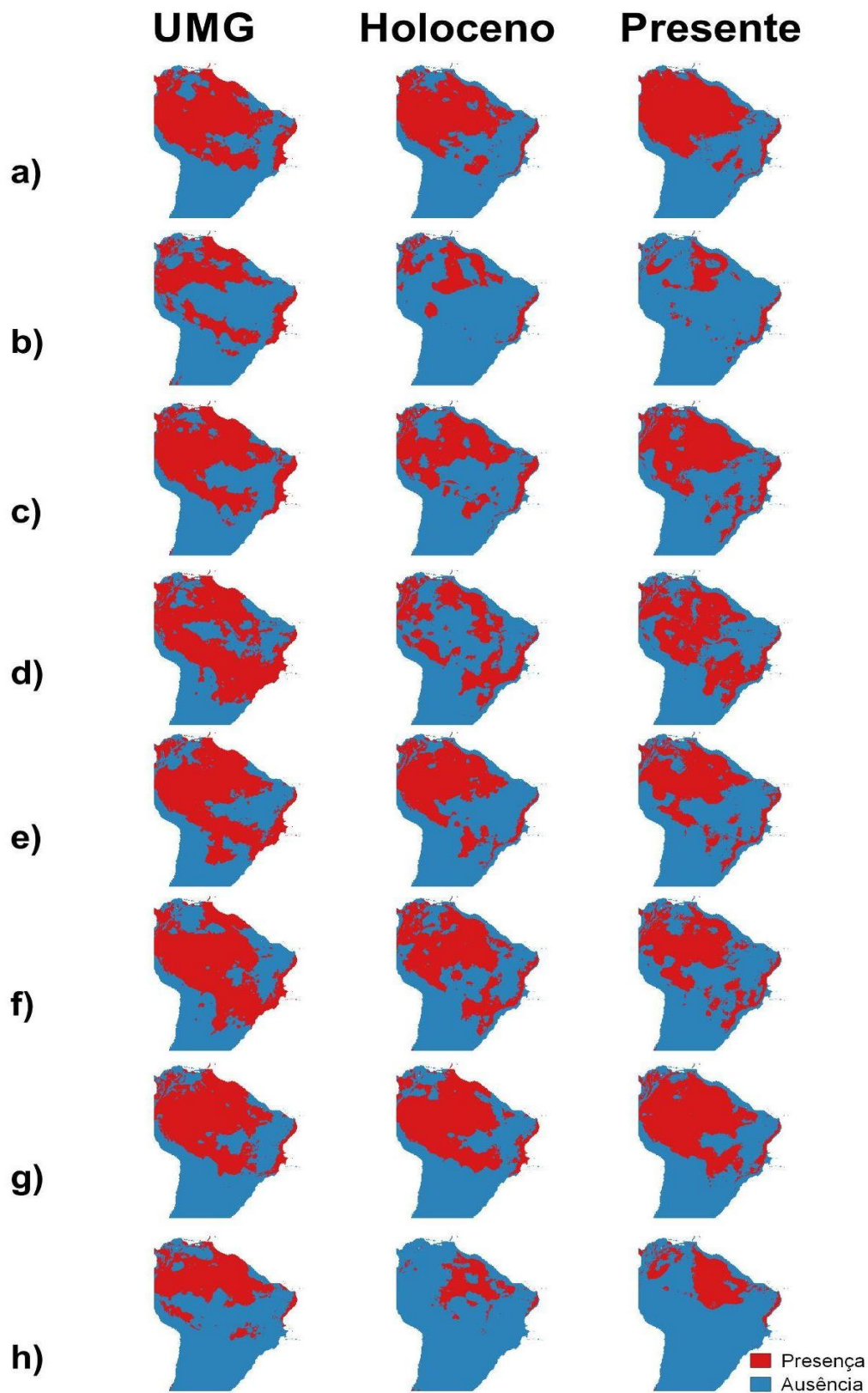
**Figura 3** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o Holoceno (6Ka)  
Fonte: Autor

Os modelos para o Holoceno destacam bem a Amazônia e Mata Atlântica como regiões favoráveis para a ocorrência das espécies, no entanto, indicam retração das áreas de adequabilidade (Figura 3) quando comparados aos modelos para o UMG (Figura 2).



**Figura 4** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o Presente (1970-2000)  
Fonte: Autor

Amazônia e Mata Atlântica foram bastante destacadas nos modelos para o Presente (Figura 4). As áreas de adequabilidade climática previstas para a ocorrência das espécies foram bastante semelhantes à distribuição encontrada com os registros de ocorrência (Figura 1). As áreas previstas para a ocorrência das espécies nesse cenário indicam retração quando comparadas às áreas disponíveis durante o UMG (Figura 2).



**Figura 5** - Áreas de presença e ausência de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) durante o UMG, Holoceno e Presente

Fonte: Autor

**Tabela 2** - Variação de área entre o UMG, Holoceno e Presente a partir dos mapas de áreas de presença e ausência das espécies

Espécie	Área UMG (km <sup>2</sup> )	Área Holoceno (km <sup>2</sup> )	Área Presente (km <sup>2</sup> )	Variação de Área entre o UMG e Holoceno (km <sup>2</sup> )	Variação de Área entre o Holoceno e Presente (km <sup>2</sup> )	Variação de Área entre o UMG e Presente (km <sup>2</sup> )
<i>Attila spadiceus</i>	9.075,509	7.657,678	8.338,993	-1.417,831	+681,315	-736,516
<i>Caryothraustes canadensis</i>	6.245,099	3.196,425	2.465,464	-3.048,674	-730,961	-3.779,635
<i>Glaucis hirsutus</i>	9.281,758	6.497,523	7.605,481	-2.784,235	+1.107,958	-1.676,277
<i>Manacus manacus</i>	10.138,867	5.857,963	7.724,500	-4.280,904	+1.866,537	-2.414,367
<i>Pachyramphus marginatus</i>	9.650,917	7.455,016	6.673,712	-2.195,901	-781,304	-2.977,205
<i>Xenops minutus</i>	9.912,61	8.042,94	6.672,622	-1.869,67	-1.370,318	-3.239,988
<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	8.745,470	8.496,562	8.565,435	-248,908	+68,873	-180,035
<i>Zimmerius acer</i>	6.098,189	2.401,382	3.408,203	-3.696,807	+1.006,821	-2.689,986

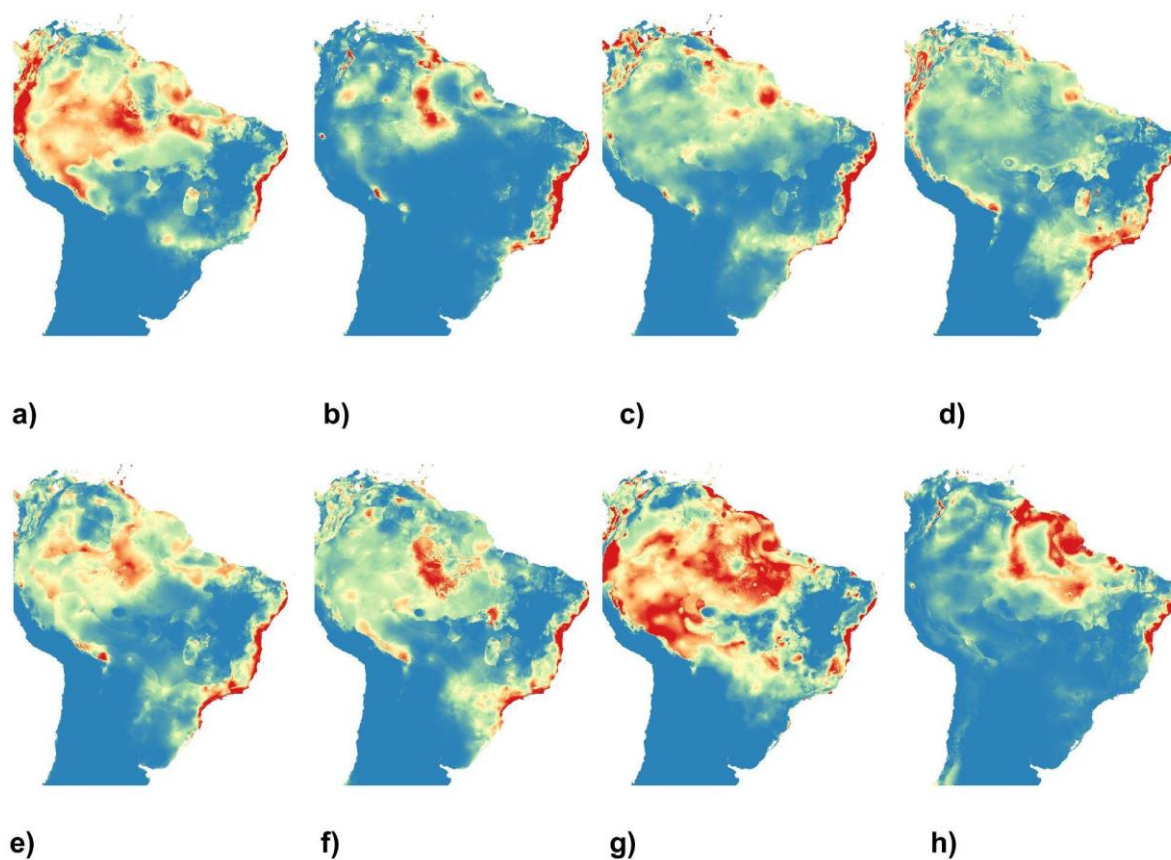
Fonte: Autor

As áreas previstas de presença (Figura 5) e os cálculos de variação (Tabela 2) para avaliar expansão, retração ou constância das áreas indicam que cada espécie respondeu em particular às mudanças climáticas ao longo do tempo, no entanto, estas compartilham um resultado em comum ao indicarem maiores áreas adequadas para sua ocorrência durante o UMG.

Entre o Holoceno e o Presente, os resultados foram contrastantes entre as espécies. Para *A. spadiceus*, *G. hirsutus*, *M. manacus* e *Z. acer*, as áreas potenciais foram reduzidas no Holoceno e posteriormente, no Presente, voltaram a se expandir. Para *C. canadensis*, *P. marginatus* e *X. minutus*, é sugerido retração gradativa nas

áreas potenciais ao longo do tempo. Para *X. guttatus*, espécie mais generalista entre as analisadas, é observável uma constância das áreas adequadas ao longo do tempo, embora esta ainda se enquadre no mesmo ciclo de retração e expansão apresentado por *A. spadiceus*, *G. hirsutus*, *M. manacus* e *Z. acer*.

Os resultados suportam expansão de áreas favoráveis à distribuição de todas espécies durante o UMG, seguido de retração no Holoceno e posterior expansão ou contínua retração no Presente.

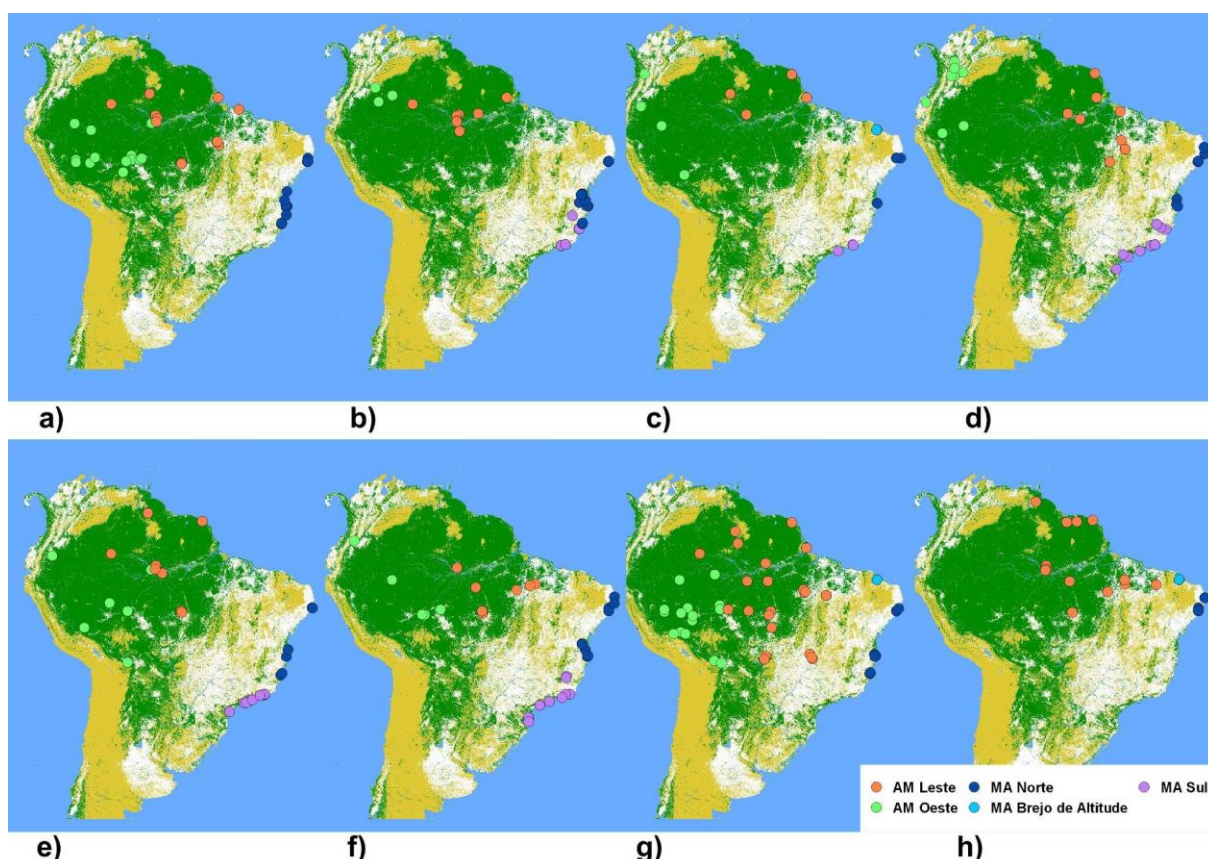


**Figura 6** - Modelos de distribuição potencial para *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) para o Futuro (2070)  
Fonte: Autor

Todos os modelos para o Futuro (Figura 6) apresentam redução considerável das áreas adequadas na Amazônia e Mata Atlântica para a ocorrência das espécies. É sugestivo também extinções locais já que algumas áreas previstas no Presente (Figura 4) não aparecem nos modelos Futuros (Figura 6).

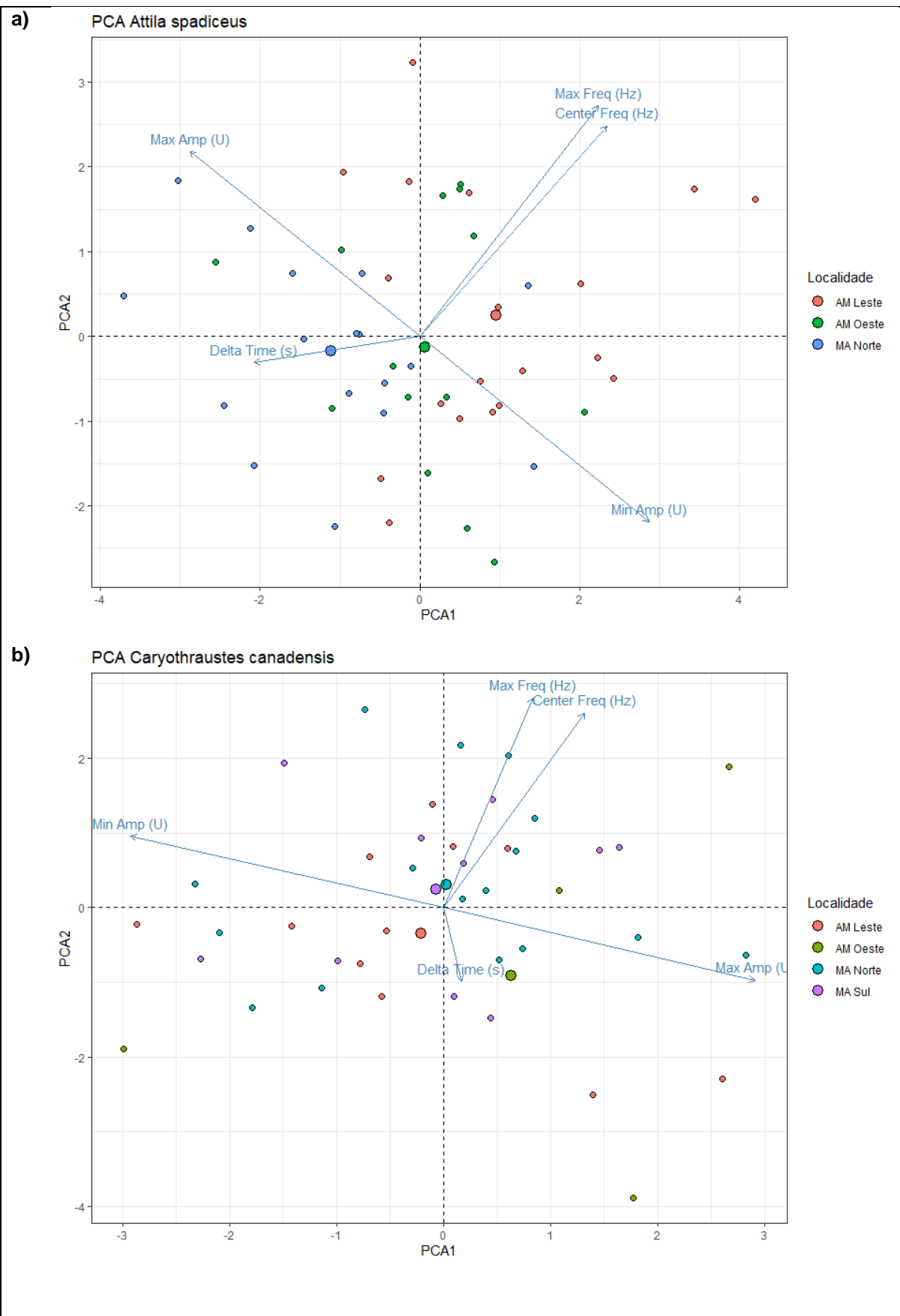
## 4.2 BIOACÚSTICA

Foram utilizados 304 registros vocais devidamente filtrados, sendo 50 para *A. spadiceus*, 41 para *C. canadensis*, 20 para *G. hirsutus*, 43 para *M. manacus*, 33 para *P. marginatus*, 38 para *X. minutus*, 54 para *X. guttatus* e 25 para *Z. acer* (Figura 7). Esses registros estão divididos em áreas leste e oeste da Amazônia, e norte, norte - Brejos de Altitude e sul da Mata Atlântica.

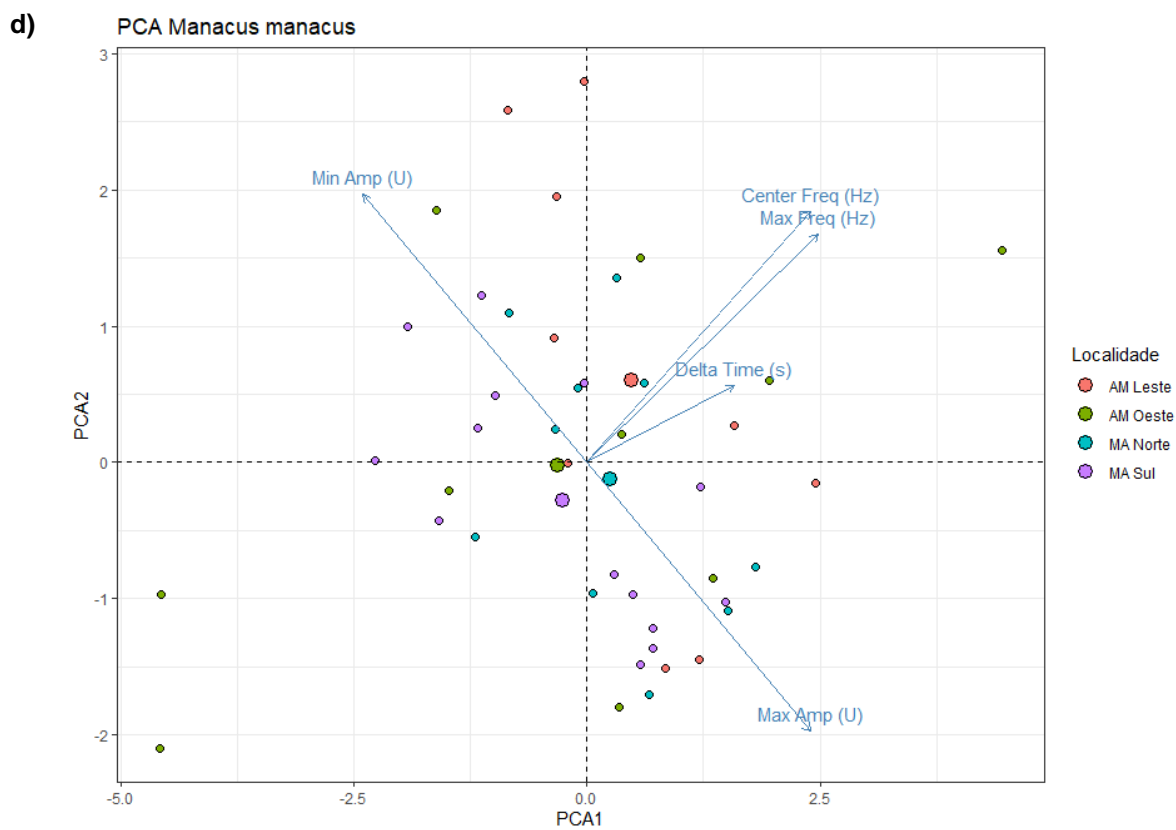
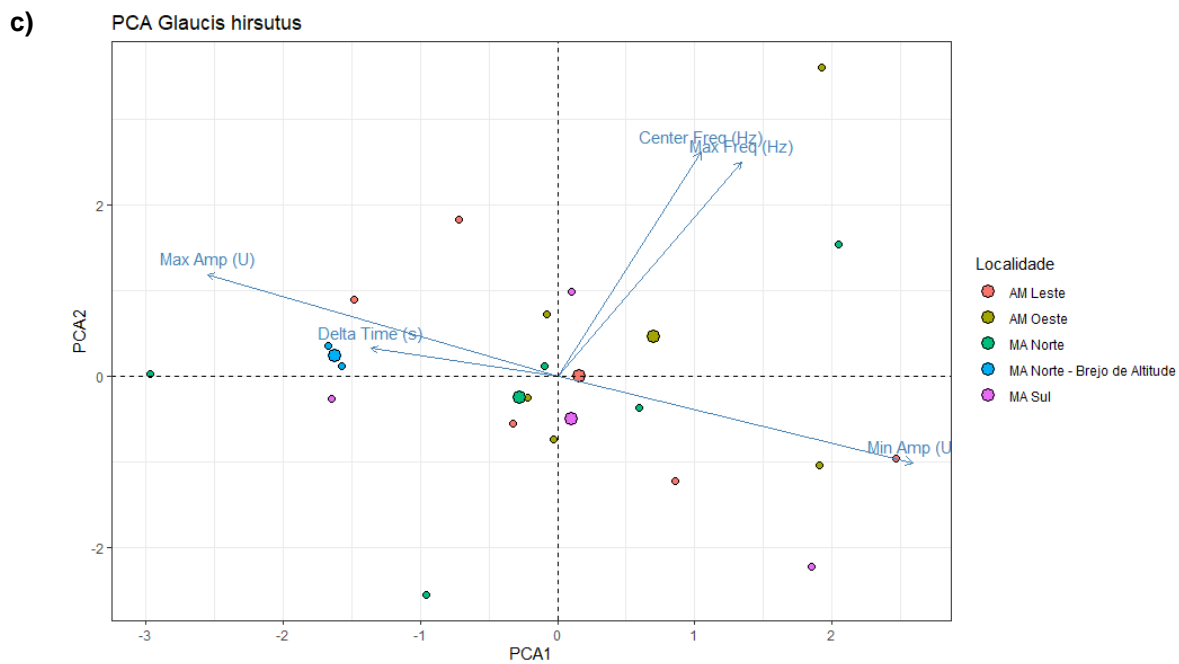


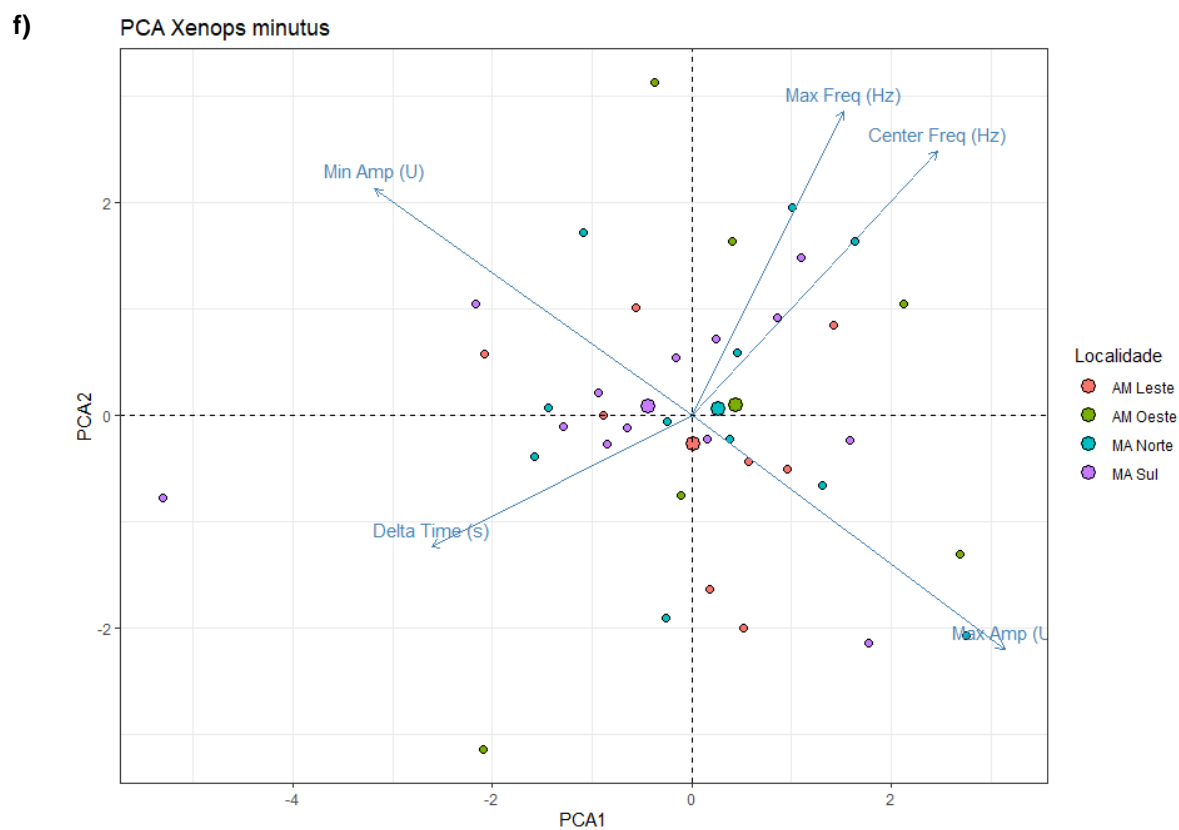
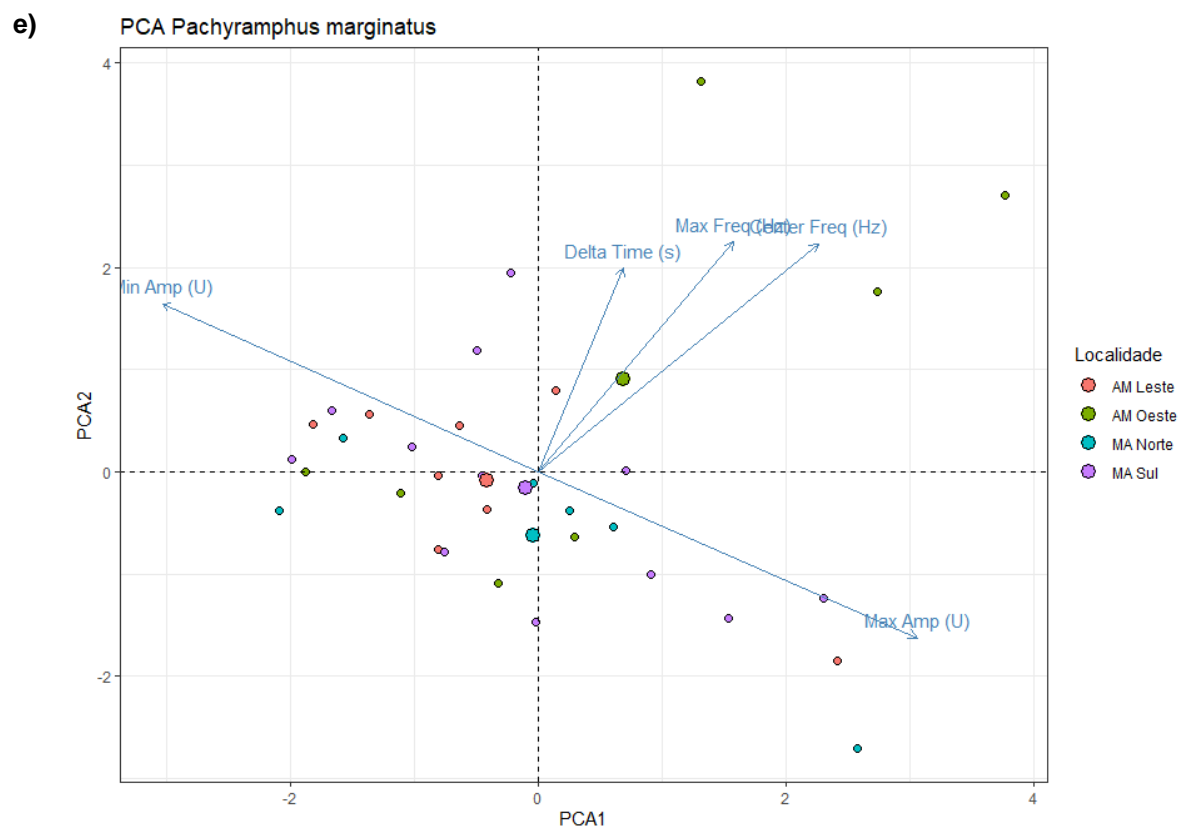
**Figura 7** – Registros locais de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) utilizados na análise vocal  
Fonte: Autor

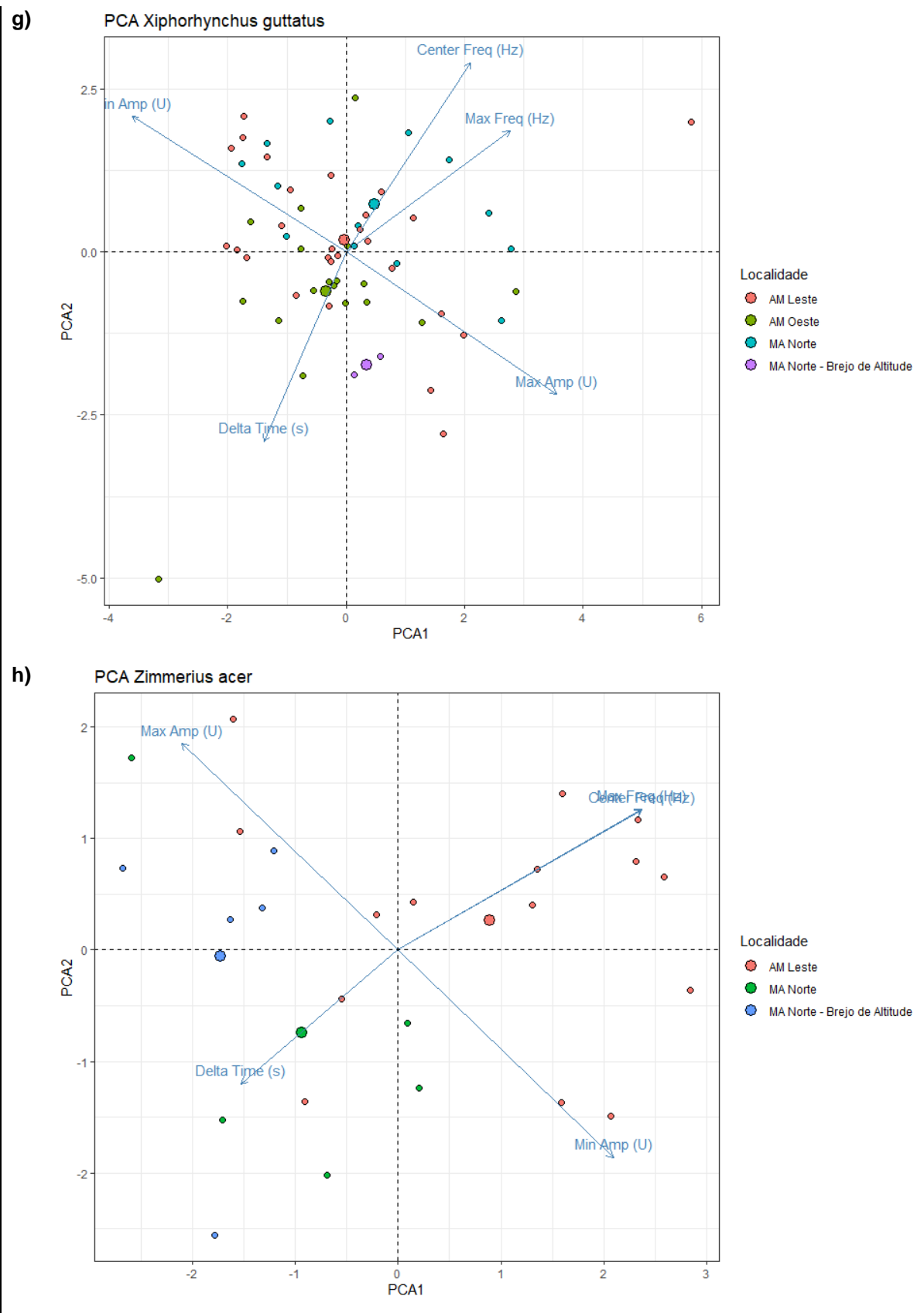
Os resultados da PCA para as espécies *A. spadiceus*, *C. canadensis*, *G. hirsutus*, *M. manacus*, *P. marginatus*, *X. minutus* e *X. guttatus* não apresentaram diferenças significativas entre os parâmetros vocais e as diferentes regiões analisadas (Figura 8 a,b,c,d,e,f,g), enquanto para *Z. acer*, o resultado indica uma separação vocal entre alguns indivíduos que ocorrem na região leste da Amazônia e norte - Brejo de Altitude da Mata Atlântica (Figura 8 h).











**Figura 8** - Parâmetros vocais de *A. spadiceus*(a), *C. canadensis*(b), *G. hirsutus*(c), *M. manacus*(d), *P. marginatus*(e), *X. minutus*(f), *X. guttatus*(g) e *Z. acer* (h) em uma PCA

Fonte: Autor

Os resultados da ANOVA indicaram que, com exceção *Z. acer*, que apresentou p-valor significativo ( $p < 0,05$ ), as demais espécies apresentaram p-valor não significativo ( $p \geq 0,05$ ) indicando assim que não há diferença significativa entre as vocalizações analisadas (Tabela 3).

**Tabela 3** - P-valor de acordo com o teste estatístico ANOVA

<b>Espécie</b>	<b>p-valor</b>
<i>Attila spadiceus</i>	0,764
<i>Caryothraustes canadensis</i>	0,100
<i>Glaucis hirsutus</i>	0,722
<i>Manacus manacus</i>	0,219
<i>Pachyramphus marginatus</i>	0,951
<i>Xenops minutus</i>	0,226
<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	0,112
<i>Zimmerius acer</i>	0,006

Fonte: Autor

O Teste de Tukey empregado para avaliar a diferença significativa entre as médias de *Z. acer* na ANOVA indicou que as vocalizações dos indivíduos que ocorrem na região leste da Amazônia diferem significativamente das espécies do norte, norte - Brejo de Altitude da Mata Atlântica (Tabela 4).

**Tabela 4** - Diferença de média entre as frequências de *Z. acer* na Amazônia e Mata Atlântica, com p-valor  $< 0,05$  de acordo com o Teste de Tukey

	<b>MA Norte</b>	<b>MA Norte - Brejo de Altitude</b>	<b>AM Leste</b>
MA Norte	-	0,978	0,033
MA Norte - Brejo de Altitude	0,284	-	0,019

Fonte: Autor

*Z. acer* apresentou diferença vocal significativa em análises diferentes (PCA - Figura 8 h, ANOVA - Tabela 3), indicando assim uma incongruência entre as vocalizações das espécies que ocorrem na Amazônia e Mata Atlântica. Para as demais espécies (*A. spadiceus*, *C. canadensis*, *G. hirsutus*, *M. manacus*, *P. marginatus*, *X. minutus* e *X. guttatus*) os resultados indicam que as vocalizações são similares, ainda que estas estejam separadas em alopatria.

## 5. DISCUSSÃO

Todos os modelos para o Último Máximo Glacial apresentam adequabilidade ambiental, alta ou intermediária, para a ocorrência das espécies ao longo das sugeridas rotas de conexão entre a Amazônia e a Mata Atlântica (Figura 2). Tendo em vista que a distribuição dessas espécies florestais reflete a distribuição das florestas, os modelos ao evidenciarem expansão ao longo das regiões sudeste e centro-oeste indicam conexão entre as florestas através da rota SE-NW, que une o noroeste da Amazônia ao sudeste da Mata Atlântica. A rota NE é suportada nos modelos das espécies *A. spadiceus*, *G. hirsutus* e *M. manacus* (Figura 2 a,c,d) ao apresentarem conectividade florestal ao longo da Caatinga. Essa conexão ocorre próximo à região costeira, por Brejos de Altitude, unindo a Mata Atlântica ao leste amazônico.

Condições úmidas e favoráveis à expansão dessas florestas estão de acordo com o Sistema de Monções da América do Sul (SMAS), no qual a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), atuam fortemente nas regiões de ocorrência das sugeridas rotas, principalmente ao longo da rota SE-NW (ZCAS). O SAMS é influenciado principalmente pela radiação solar (CRUZ et al., 2005) e uma reconstrução do comportamento desse sistema durante o UMG evidenciou forte insolação no Hemisfério Sul, de forma que a atividade do SMAS foi aumentada e condições de umidade estiveram presentes durante todo o último período glacial (NOVELLO et al., 2017). Ao comparar ambas as vias de conexão entre AM e MA, nota-se que a rota NE foi menos expressiva nos modelos e o motivo pode estar associado ao fato dos períodos mais úmidos do UMG terem se manifestado de forma diferente entre as regiões (WAINER et al., 2005; CHENG et al., 2013; CARNAVAL et al., 2014; LEDO; COLLI, 2017). Cheng et al., (2013) analisaram a variabilidade hidroclimática na Amazônia e identificaram um padrão dipolo para o bioma. Durante o UMG, os resultados sugerem que o oeste da Amazônia possuiu

condições climáticas estáveis e mais úmidas, enquanto o leste dessa floresta foi mais instável climaticamente; é possível, dessa forma, que a maior estabilidade apresentada pelo oeste da Amazônia tenha favorecido a ocorrência da conexão por essa região durante o UMG, assim como a expansão florestal na Mata Atlântica foi favorecida pela plataforma continental emergida durante o mesmo período (LEITE et al., 2016).

Os modelos para o UMG (Figura 2) ao indicarem uma maior importância para a rota SE-NW do que para a rota NE corroboram o proposto por Batalha-Filho et al., (2013) ao sugerir que as conexões pelo nordeste possuíram um menor papel na dispersão de aves entre as florestas. Além da forte influência das condições climáticas, diferenças específicas, relacionadas a ecologia e tolerância ambiental das espécies podem estar relacionadas para aquelas que apontam as duas rotas de conexão entre AM e MA durante o mesmo período.

Os modelos do passado e presente (Figuras 2, 3, 4), assim como as análises de presença e variação (Figura 5, Tabela 2), sugerem áreas maiores para a ocorrência das espécies durante o UMG e esse resultado é concordante com estudos que indicam a maior distribuição de aves (CABANNE et al., 2016) e áreas florestais nesse período, devido a expansão das florestas úmidas (COLINVAUX et al., 1996, 2000; BUSH; OLIVEIRA, 2006; SANTOS et al., 2007; CARNAVAL et al., 2014; SOBRAL-SOUZA et al., 2015; LEITE et al., 2016; LEDO; COLLI, 2017; ARRUDA et al., 2018; CAPURUCHO et al., 2018; COSTA et al., 2018; RANGEL et al., 2018; SILVEIRA et al., 2019). A expansão florestal e sua consequente conectividade foi crucial entre os biomas por favorecer a troca biótica e permitir oportunidades de diversificação.

Para o Holoceno, período este mais seco, marcado por aumento da temperatura e redução da precipitação (MCGLUE et al., 2017; NOVELLO et al., 2017) é indicado retração de áreas adequadas à ocorrência das espécies (Figura 5, Tabela 2) e esse resultado está de acordo com estudos que indicam a expansão do Cerrado e Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSS) nesse período (WERNECK et al., 2011, 2012; WHITNEY et al., 2011; VIEIRA et al., 2015; BUENO et al., 2017; SILVEIRA et al., 2019). Embora o Holoceno tenha sido predominantemente seco (WHITNEY et al., 2011), seu fim (últimos 3 a 1.500 anos) apresentou aumento na precipitação de forma favorável a recolonização das espécies florestais, onde estas se expandiram novamente até seus limites atuais (MAYLE; BEERLING, 2004; MAYLE et al., 2004; PAROLIN et al., 2006).

Frente às alterações climáticas recentes, na transição do Holoceno para o Presente, as espécies apresentaram resultados contrastantes. Para *A. spadiceus*, *G. hirsutus*, *M. manacus*, *X. guttatus* e *Z. acer* é sugerido expansão de áreas adequadas à sua ocorrência no Presente, enquanto para *C. canadensis*, *P. marginatus* e *X. minutus*, as áreas continuam em redução desde o Holoceno (Figura 5, Tabela 2). Essa variação apresentada pelas espécies frente aos mesmos processos históricos evidencia que estas respondem individualmente às mudanças climáticas, e que as diferenças específicas, mais uma vez, podem estar relacionadas para as divergências apresentadas.

Para as espécies suboscines (*A. spadiceus*, *M. manacus*, *P. marginatus*, *X. minutus*, *X. guttatus*), de vocalização determinada pela genética no qual diferenças significativas podem resultar em especiação (RHEINDT et al., 2008; SOSA-LÓPEZ et al., 2013); e oscines (*C. canadenses*, *G. hirsutus*), de vocalização aprendida e passível de modificação em função dos diferentes fatores enfrentados pelas populações (GRANT; GRANT, 1979; LACHLAN; SLATER, 2003; SILVA; VIELLIARD, 2011), os resultados da análise vocal não encontraram diferenças entre as vocalizações e as distintas regiões (Figura 8, Tabela 3). Embora estas espécies sejam classificadas em subespécies devido sua distribuição alopátrica, e sejam polimórficas, as diferenças morfológicas não refletem alterações bioacústicas para as subespécies (RODRIGUES, 2017). A similaridade vocal apresentada indica que as populações dessas espécies não estão isoladas a um tempo considerável, dessa forma, é possível que as conexões recentes entre a Amazônia e Mata Atlântica tenham favorecido o contato entre as populações de forma que o tempo de separação entre as florestas não foi suficiente para diferenciá-las vocalmente.

Em *Z. acer*, espécie suboscine de resultado atípico nas análises, é indicado diferença vocal significativa entre as espécies que ocorrem no leste da Amazônia e norte da Mata Atlântica (Figura 8 h, Tabela 4). Rheindt et al., (2008) analisaram o DNA mitocondrial e nuclear do gênero *Zimmerius* e propuseram elevação de *Z. acer* a nível de espécie, que antes era tida como subespécie de *Z. gracilipes*, e embora não tenham analisado dados genéticos da Mata Atlântica, sugeriram uma maior proximidade das vocalizações de *Z. acer* dessa região com as das subespécies do oeste da Amazônia. Ainda segundo os autores, os caracteres vocais de *Zimmerius* estão em concordância com os dados moleculares e dessa forma são boas evidências para separar as espécies do gênero, sendo assim, é possível que a identidade das

populações do leste da Amazônia e Mata Atlântica estejam incertas; para os autores, *Z. acer* está restrito a Guiana, no entanto, suportamos a ocorrência da espécie ao norte do rio Amazonas, nas terras altas da Amazônia.

Nossos resultados de modelagem estão em concordância com estudos anteriores ao sugerir expansão das florestas úmidas durante o UMG e ao identificar as rotas de conexão entre AM e MA (COLINVAUX et al., 1996, 2000; COSTA, 2003; SANTOS et al., 2007; BATALHA-FILHO et al., 2013; CARNAVAL et al., 2014; SOBRAL-SOUZA et al., 2015; CABANNE et al., 2016; LEITE et al., 2016; LEDO; COLLI, 2017; ARRUDA et al., 2018; CAPURUCHO et al., 2018; COSTA et al., 2018; RANGEL et al., 2018; DAL VECHIO et al., 2018; SILVEIRA et al., 2019; DO NASCIMENTO et al., 2021); e para a análise vocal, é nítido a influência das pretéritas conexões para as espécies, uma vez que esse momento estabeleceu contato entre as populações de forma que alterações bioacústicas não são identificáveis. Estudos genéticos tendem a acrescentar às informações aqui encontradas já que poderão fornecer estimativas de tempo de divergência e dispersão dessas espécies entre os biomas, sendo dessa forma fundamentais para fortalecer os padrões encontrados na modelagem e bioacústica.

Para o Futuro, as espécies indicam retração em sua ocorrência na Amazônia e Mata Atlântica (Figura 6). Até o fim do século é esperado um aumento da temperatura média global de até 4,8°C (IPCC, 2014) e para as florestas tropicais da América do Sul esse aumento pode acarretar em substituição destas por savanas (BRASIL, 2016). As espécies, associadas ao ambiente em que ocorrem, ao apresentarem retração de suas áreas potenciais sugerem que as florestas úmidas serão fortemente afetadas pelo acréscimo da temperatura até o fim do século, assim como foram em outros períodos de aumento da temperatura (LEDO; COLLI, 2017; SILVEIRA et al., 2019). Para o Futuro é esperado um cenário aparentado ao Holoceno, no qual modelos dinâmicos de vegetação preveem a retração das florestas úmidas e expansão das florestas secas (WERNECK et al., 2011, 2012).

Embora as projeções feitas para um cenário climático pessimista ainda indiquem grandes áreas de adequabilidade intermediária para a ocorrência das espécies, a modelagem utiliza o conceito de nicho Grinnelliano ao considerar apenas dados bióticos em sua construção e ignorar outros fatores, como a interferência humana e barreiras geográficas (DALAPICOLLA, 2016), dessa forma, a ocorrência dessas espécies na AM e MA depende não somente das condições climáticas, mas



também da ocupação humana, capacidade dispersiva, predação, competição, recurso alimentar e sua adaptabilidade, o que indica que futuramente suas áreas reais de ocupação poderão ser bem menores do que o demonstrado.

Além da caça, as principais ameaças às aves brasileiras são a perda, degradação e fragmentação do habitat (MARINI; GARCIA, 2005), e a Amazônia e Mata Atlântica estão sujeitas a imensuráveis perdas devido às significativas atividades antrópicas (ALENCAR et al., 2004; DE LIMA et al., 2020; RIBAS et al., 2020). Essas florestas estão entre os ecossistemas mais biodiversos do mundo, e as ações que visam sua conservação devem ser planejadas levando em consideração o caráter regional, já que essas florestas possuem fisionomias altamente divergentes (CAMPANILI; PROCHNOW, 2006; RAMOS; AZEVEDO, 2010), entretanto, há um consenso sobre a importância do controle ao desmatamento, reflorestamento e restauração de áreas degradadas (RIBEIRO et al., 2009; COPERTINO et al., 2019; DE LIMA et al., 2020).

Os impactos humanos e as mudanças climáticas, que para as aves influenciam de forma significativa na taxa metabólica e demais aspectos relacionados ao comportamento de grupo (CRICK, 2004), além de provocarem alterações fenotípicas (WEEKS et al., 2020; JIRINEC et al., 2021), são os principais responsáveis pela perda de espécies, e para as aqui analisadas, embora estas sejam consideradas em menor preocupação segundo a categoria e critérios da lista vermelha da IUCN, sob um cenário futuro de redução potencial em sua distribuição, é evidente o impacto causado e necessidade de ações que visem a conservação das espécies e dos ambientes em que estas ocorrem. A modelagem de distribuição é uma ótima ferramenta em estudos de conservação por gerar previsões de impacto para as espécies e seu habitat sob mudanças climáticas, o que permite se antecipar e desenvolver estratégias eficazes de manejo e conservação frente a essas mudanças. Conservar a Amazônia e a Mata Atlântica é conservar não somente sua biodiversidade, mas sua história também.

## 6. CONCLUSÃO

É notório o compartilhamento de uma história bastante em comum entre as espécies *Attila spadiceus*, *Caryothraustes canadensis*, *Glaucis hirsutus*, *Manacus manacus*, *Pachyramphus marginatus*, *Xenops minutus*, *Xiphorhynchus guttatus* e *Zimmerius acer* frente às alterações climáticas ocorridas no Último Máximo Glacial (UMG). Os modelos de distribuição e análises de variação durante esse período sugerem que as áreas adequadas para a ocorrência dessas espécies foram amplas pelo país, desde terras altas a terras baixas; esse resultado, somado à análise vocal das espécies, fortalece as evidências de conexões históricas entre a Amazônia e a Mata Atlântica ao longo das regiões sudeste, centro-oeste e nordeste do país, destacando que as rotas SE-NW e NE podem ter sido importantes na dispersão e contato dos táxons entre os dois biomas. Nossos resultados somam-se as demais informações sobre a dinâmica histórica que envolve as florestas tropicais úmidas da América do Sul e acrescem as informações sobre a Amazônia e a Mata Atlântica e Brejos de Altitude, que embora tenham aparecido em poucos modelos, possuem grande importância por se tratarem de ilhas florestais encontradas em meio a Caatinga, e que hoje em dia encontram-se pouco estudados e pouco conservados.

Diferente do indicado no passado (UMG), frente às alterações climáticas, as previsões para o futuro indicam retração das áreas adequadas. O aumento da temperatura em consequência ao aquecimento global tende a reduzir de forma alarmante as áreas potenciais para a ocorrência das espécies. Diante disso, é necessário a implementação de ações que visem a criação de planos eficazes para a conservação dos biomas e consequente preservação das espécies.

Nossas inferências sobre a biogeografia histórica e conservação das florestas tropicais úmidas da América do Sul somam-se a diversos outros estudos independentes e os corroboram, no entanto, é sabido sobre a importância de outras fontes de dados para o fortalecimento dos nossos resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos avançados**, v. 13, n. 36, p. 7–59, 1999.
- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; SOARES FILHO, B. **Desmatamento na Amazônia: indo além da “emergência crônica”**. IPAM, Pará, 2004
- ANDRADE-LIMA, D. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 4, p. 243–274, 2007.
- ARRUDA, D. M. et al. Vegetation cover of Brazil in the last 21 ka: new insights into the Amazonian refugia and Pleistocenic arc hypotheses. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 1, p. 47–56, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12646>
- AUDACITY TEAM. **Audacity(R): Free Audio Editor and Recorder**. Versão 3.1, 2021. Disponível em: <https://www.audacityteam.org/download/>. Acesso em: 12 fevereiro 2022.
- BATALHA FILHO, H. **Padrões e processos de diversificação em aves da Amazônia e da Mata Atlântica**. 2012. Tese (Doutorado em Genética) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- BATALHA-FILHO, H. et al. Connections between the Atlantic and the Amazonian forest avifaunas represent distinct historical events. **Journal of Ornithology**, v. 154, n. 1, p. 41–50, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10336-012-0866-7>
- BIGARELLA, J.J. Variações climáticas no Quaternário superior do Brasil e sua datação radiométrica pela datação do carbono 14. **Paleoclimas**, São Paulo, v.1, p.1–22. 1971.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE-LIMA, D.; RIEHS, P. J. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 47, p. 411–464, 1975.
- BONCORAGLIO, G.; SAINO, N. Habitat structure and the evolution of bird song: a meta-analysis of the evidence for the acoustic adaptation hypothesis. **Functional Ecology**, p. 134–142, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2006.01207.x>
- BOOTH, T. H. et al. BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. **Diversity and Distributions**, v. 20, n. 1, p. 1–9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12144>
- BRAGA, P. I. S. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da floresta amazônica. **Acta amazonica**, v. 9, n. 4, p. 53–80, 1979.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**: volume 1 : estratégia geral. Brasília, 2016.

BREWER, D. Yellow-green Grosbeak (*Caryothraustes canadensis*), version 1.0. *In: Birds of the World*. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2173/bow.yeggro1.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

BRUMM, H.; ZOLLINGER, S. A. Avian vocal production in noise. *In: Brumm, H. (ed). Animal communication and noise*. Springer: Berlin, Heidelberg, 2013. p. 187–227. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41494-7_7)

BUENO, M. L. et al. Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. **Ecography**, v. 40, n. 3, p. 403–414, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/ecog.01860>

BUSH, M. B.; OLIVEIRA, DE P. E. The rise and fall of the Refugial Hypothesis of Amazonian speciation: a paleoecological perspective. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 1, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/Kwz9qNMx5yx3rPXQWrS6vWv/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 07 maio 2022

CABANNE, G. S. et al. Effects of Pleistocene climate changes on species ranges and evolutionary processes in the Neotropical Atlantic Forest. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 119, n. 4, p. 856–872, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/bij.12844>

CAMPANILI, M.; PROCHNOW, M. **Mata Atlântica – Uma rede pela floresta**. RMA, Brasília, 2006.

CAPURUCHO, J. M. G. et al. Connecting Amazonian, Cerrado, and Atlantic forest histories: Paraphyly, old divergences, and modern population dynamics in tyrant-manakins (*Neopelma/Tyranneutes*, Aves: Pipridae). **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 127, p. 696–705, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.06.015>

CARNAVAL, A.C. et al. Prediction of phylogeographic endemism in an environmentally complex biome. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 1792, p. 1–8, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1461>

CARVALHO, M. C. et al. Algoritmos de aprendizagem de máquina na modelagem da distribuição potencial de habitats de espécies arbóreas. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 600–606, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7214>

CAVALCANTI, D.; TABARELLI, M. Distribuição das plantas amazônico-nordestinas no centro de endemismo Pernambuco: brejos de altitude vs. florestas de terras baixas. *In: PÔRTO, K. C.; CABRA, J. J. P.; TABARELLI, M. (eds). Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004. p. 285–296.

CHENG, H. et al. Climate change patterns in Amazonia and biodiversity. **Nature communications**, v. 4, n. 1, p. 1–6, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms2415>

COLINVAUX, P. A.; DE OLIVEIRA, P. E.; BUSH, M. B. Amazonian and neotropical

plant communities on glacial time-scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. **Quaternary Science Reviews**, v. 19, p. 141–169, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00059-1)

COLINVAUX, P. A. et al. A long pollen record from lowland Amazonia: forest and cooling in glacial times. **Science**, v. 274, n. 5284, p. 85–88, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.274.5284.85>

COPERTINO, M. et al. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 4, p. 04–05, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000400002>

COSTA, L. P. The historical bridge between the Amazon and the Atlantic Forest of Brazil: a study of molecular phylogeography with small mammals. **Journal of biogeography**, v. 30, n. 1, p. 71–86, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00792.x>

COSTA, G.C. et al. Biome stability in South America over the last 30 kyr: Inferences from long-term vegetation dynamics and habitat modelling. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 3, p. 285–297, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/geb.12694>

CRICK, H. Q. P. The impact of climate change on birds. **Ibis**, v. 146, p. 48–56, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00327.x>

CRUZ, F. W. et al. Mudanças causadas pela insolação na circulação atmosférica nos últimos 116.000 anos no Brasil subtropical. **Natureza**, v. 434, n. 7029, p. 63–66, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature03365>

DALAPICOLLA, J. **Tutorial de modelos de distribuição de espécies: guia teórico**. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016. Disponível em: <http://blog.ufes.br/lamab/tutoriais>. Acesso em: 03 janeiro 2022.

DA SILVA, M.; VIELLIARD, J. A aprendizagem vocal em aves: evidências comportamentais e neurobiológicas. **Estudos do comportamento II**, v. 1, p. 1–24, 2011.

DAL VECHIO, F. et al. Phylogeography and historical demography of the arboreal pit viper *Bothrops bilineatus* (Serpentes, Crotalinae) reveal multiple connections between Amazonian and Atlantic rain forests. **Journal of Biogeography**, v. 45, n. 10, p. 2415–2426, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.13421>

DECKER, S. Plain Xenops (*Xenops minutus*), version 1.0. In: **Birds of the World**. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2173/bow.plaxen1.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

DEL HOYO, J.; Collar, N.; Kirwan, G. M. Guianan Tyrannulet (*Zimmerius acer*), version 1.0. In: **Birds of the World**. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2173/bow.guityr1.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

DE LIMA, R. A. F. et al. The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature communications**, v. 11, n. 1, p. 1–16, 2020. DOI:<https://doi.org/10.1038/s41467-020-20217-w>

DE OLIVEIRA, P. E.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. **Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology**, v. 152, p. 319–337, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(99\)00061-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(99)00061-9)

DIAS, A. F. S. **Competição por espaço acústico: adaptações de cantos de aves em uma zona de alta biodiversidade do Brasil Central**. 2013. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

DO NASCIMENTO, N. F. F. et al. Population history of the Blue-backed Manakin (*Chiroxiphia pareola*) supports Plio-Pleistocene diversification in the Amazon and shows a recent connection with the Atlantic Forest. **Journal of Ornithology**, v. 162, n. 2, p. 549–563, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10336-020-01845-x>

FARIAS, G. B. **Análise do potencial ecoturístico para a observação de aves (birdwatching) na Ilha de Itamaracá/PE: o uso da atividade para o desenvolvimento local**. 2004. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

FERRAZ, E. M. N. et al. Composição florística em trechos de vegetação de caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, n. 1, p. 7–15, 1998.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>

GIANNINI, T. C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, p. 733–749, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602012000300017>

GRANT, B. R.; GRANT, P. R. Darwin's finches: population variation and sympatric speciation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 76, n. 5, p. 2359–2363, 1979. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.76.5.2359>

HAFFER, J. Speciation in Amazonian Forest Birds: Most species probably originated in forest refuges during dry climatic periods. **Science**, v. 165, n. 3889, p. 131–137, 1969. DOI:<https://doi.org/10.1126/science.165.3889.131>

HAMMER, Ø.; HAPPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001. Disponível em:<https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>. Acesso: 01 fevereiro 2022.

HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 25, n. 15, p. 1965–1978, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>

HINKELMANN, C.; BOESMAN, P. F. D.; KIRWAN, G. M. Rufous-breasted Hermit (*Glaucis hirsutus*), version 1.0. In: **Birds of the World**. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2173/bow.rubher.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

IPCC, 2014: Mudanças climáticas 2014: relatório síntese. contribuição dos grupos de trabalho i, ii e iii para o quinto relatório de avaliação do painel intergovernamental sobre mudanças climáticas [Core Writing Team, RK Pachauri e LA Meyer (eds.)]. **IPCC**, Genebra, Suíça, 2014.

IUCN. **A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN**. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org/>. Acesso em: 22 abril 2022.

JIRINEC, V. et al. Morphological consequences of climate change for resident birds in intact Amazonian rainforest. **Science advances**, v. 7, n. 46, p. 1–12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.abk1743>

K. LISA YANG CENTER FOR CONSERVATION BIOACOUSTICS. **Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software**. Versão 1.6.3. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology, 2022. Disponível em: <https://ravensoundsoftware.com/>. Acesso em: 06 fevereiro 2022

LACHLAN, R. F.; SLATER, P. J. B. Song learning by chaffinches: how accurate, and from where?. **Animal Behaviour**, v. 65, n. 5, p. 957–969, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbe.2003.2091>

LEDO, R. M. D.; COLLI, G. R. The historical connections between the Amazon and the Atlantic Forest revisited. **Journal of biogeography**, v. 44, n. 11, p. 2551–2563, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jbi.13049>

LEITE, Y. L. R. et al. Neotropical forest expansion during the last glacial period challenges refuge hypothesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 4, p. 1008–1013, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1513062113>

LOURENÇO, W. R. The disrupted pattern of distribution of the genus *Hadrurochactas* Pocock; evidence of past connections between Amazon and the Brazilian Atlantic forest. **Comptes Rendus Biologies**, v. 333, n. 1, p. 41–47, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2009.11.002>

MARANTZ, C. A.; DEL HOYO, J.; COLLAR, N.; ALEIXO, A.; BEVIER, L. R.; KIRWAN, G. M.; PATTEN, M. A. Buff-throated Woodcreeper (*Xiphorhynchus guttatus*), version 1.0. In: **Birds of the World**. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2173/bow.butwoo1.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

MARINI, M. A.; GARCIA, F. I. Conservação de aves no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 95–102, 2005.

MARLER, P. Bird calls: a cornucopia for communication. *In*: MARLER, P.; SLABBEKOORN, H. (eds). **Nature's Music: The Science of Birdsong**. New York: Academic Press, 2004. p. 132–177.

MARQUES, A. B. Abordagens sobre a bioacústica na ornitologia: parte I- conceitos básicos. **Atualidades Ornitológicas On-line**, v. 146, p. 38-40, 2008.

MAYLE, F.E.; BEERLING, D. J. Late Quaternary changes in Amazonian ecosystems and their implications for global carbon cycling. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 214, n. 1-2, p. 11–25, 2004. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.06.016>

MAYLE, F. E. et al. Responses of Amazonian ecosystems to climatic and atmospheric carbon dioxide changes since the last glacial maximum. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 359, n. 1443, p. 499–514, 2004. DOI:<https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1434>

MCGLUE, M.I M. et al. Holocene stratigraphic evolution of saline lakes in Nhecolândia, southern Pantanal wetlands (Brazil). **Quaternary Research**, v. 88, n. 3, p. 472–490, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1017/qua.2017.57>

MEROW, C. et al. What do we gain from simplicity versus complexity in species distribution models?. **Ecography**, v. 37, n. 12, p. 1267–1281, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/ecog.00845>

MOBLEY, J. A. Black-capped Becard (*Pachyrampus marginatus*), version 1.0. *In*: **Birds of the World**. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em:<https://doi.org/10.2173/bow.blcbec1.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

MORA, A. et al. Tectonic history of the Andes and sub-Andean zones: implications for the development of the Amazon drainage basin. *In*: HOORN, C.; WESSELINGH, F. P. (eds). **Amazonia, Landscape and Species Evolution: A Look into the Past**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2010. p. 38–60.

MORTON, E. S. Ecological sources of selection on avian sounds. **The American Naturalist**, v. 109, n. 965, p. 17–34, 1975.

NOVELLO, V. F. et al. A high-resolution history of the South American Monsoon from Last Glacial Maximum to the Holocene. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1–8, 2017. DOI:<https://doi.org/10.1038/srep44267>

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central Brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh journal of botany**, v. 52, n. 2, p. 141–194, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0960428600000949>

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 5, n. 6, p. 777–788, 2008.



OLIVEIRA, L. C. **Padrões, conexões e determinantes da vegetação arbórea do Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Campus de Nova Xavantina, Nova Xavantina, 2019.

PACHECO, J. F. et al. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee—second edition. **Ornithology Research**, v. 29, n. 2, p. 94–105, 2021. DOI:<https://doi.org/10.1007/s43388-021-00058-x>

PAGLIA, A. P. et al. Modelos de distribuição de espécies em estratégias para a conservação da biodiversidade e para adaptação baseada em ecossistemas frente a mudanças climáticas. **Natureza & Conservação, Curitiba**, v. 10, n. 2, p. 231–234, 2012. DOI:<http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.031>

PAROLIN, M.; MEDEANIC, S.; STEVAUX, J. C. Registros palinológicos e mudanças ambientais durante o Holoceno de Taquarussu (MS). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 9, n. 1, p. 137–148, 2006.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, p. 231–259, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

PELLEGRINO, K. C. M. et al. Phylogeography and species limits in the *Gymnodactylus darwini* complex (Gekkonidae, Squamata): genetic structure coincides with river systems in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 85, n. 1, p. 13–26, 2005. DOI:<https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2005.00472.x>

PESSENDA, L. C. R. et al. The evolution of a tropical rainforest/grassland mosaic in southeastern Brazil since 28,000 14C yr BP based on carbon isotopes and pollen records. **Quaternary Research**, v. 71, n. 3, p. 437–452, 2009. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2009.01.008>

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2017. Disponível em: [https://qgis.org/pt\\_BR/site/](https://qgis.org/pt_BR/site/). Acesso em: 13 março 2022.

RAMOS, M. D. G. O.; AZEVEDO, M. R. Q. A. **Ecossistemas Brasileiros**. Campina Grande, Natal: EdUEPB, EDUFRN. Editora UFRN, 2010.

RANGEL, T. F. et al. Modeling the ecology and evolution of biodiversity: Biogeographical cradles, museums, and graves. **Science**, v. 361, n. 244, p. 1–13, 2018. DOI:<https://doi.org/10.1126/science.aar5452>

RAPOSO, M. A. et al. Anatomia da siringe dos Dendrocolaptidae (Aves, Passeriformes). **Arquivos do Museu Nacional**, v. 64, n. 2, p. 181–191, 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/35880463\\_Taxonomia\\_e\\_anatomia\\_da\\_siringe\\_do\\_genero\\_Xiphorhynchus\\_Swaion\\_1827\\_Aves\\_Dendrocolaptidae](https://www.researchgate.net/publication/35880463_Taxonomia_e_anatomia_da_siringe_do_genero_Xiphorhynchus_Swaion_1827_Aves_Dendrocolaptidae). Acesso em: 02 abril 2022.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2021. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 03 abril 2022.

RHEINDT, F. E.; NORMAN, J. A.; CHRISTIDIS, L. DNA evidence shows vocalizations to be a better indicator of taxonomic limits than plumage patterns in *Zimmerius tyrant-flycatchers*. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 48, n. 1, p. 150–156, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.04.016>

RIBAS, C.; ZANUSSO, F.; CÂNDIDO, L. A.; PIEDADE, M. T. F.; Hamada, N. **Por que cuidar da floresta?**. INPA, Manaus, 2020

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>

RIZZINI, C. T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, p. 3–64, 1963.

RODRIGUES, F. G. **Análise do repertório vocal de *Pitangus sulphuratus* (Linnaeus, 1766)(Aves: Passeriformes: Tyrannidae) em diferentes regiões do Brasil**. 2017. Dissertação (Mestre em Zoologia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Botucatu, São Paulo, 2017.

RSTUDIO TEAM. **RStudio: Integrated Development for R**. RStudio, PBC, Boston, 2022. Disponível em: <https://www.rstudio.com/products/rstudio/>. Acesso em: 11 abril 2022.

SANTOS, A. M. M. et al. Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. **Journal of biogeography**, v. 34, n. 3, p. 437–446, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01604.x>

SILVEIRA, M. H. B. et al. Pleistocene climatic instability drove the historical distribution of forest islands in the northeastern Brazilian Atlantic Forest. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 527, p. 67–76, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.04.028>

SOBRAL-SOUZA, T.; LIMA-RIBEIRO, M. S.; SOLFERINI, V. N. Biogeography of Neotropical Rainforests: past connections between Amazon and Atlantic Forest detected by ecological niche modeling. **Evolutionary Ecology**, v. 29, n. 5, p. 643–655, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10682-015-9780-9>

SOBRAL-SOUZA, T.; LIMA-RIBEIRO, M. S. De volta ao passado: revisitando a história biogeográfica das florestas neotropicais úmidas. **Oecologia Australis**, v. 21, n. 2, p. 93–107, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2017.2102.01>

SOSA-LÓPEZ, J. R.; MENNILL, D. J.; NAVARRO-SIGÜENZA, A. G. Geographic variation and the evolution of song in Mesoamerican rufous-naped wrens *Campylorhynchus rufinucha*. **Journal of Avian Biology**, v. 44, n. 1, p. 027–038,

2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2012.05651.x>

TCHAICKA, L. et al. Phylogeography and population history of the crab-eating fox (*Cerdocyon thous*). **Molecular Ecology**, v. 16, n. 4, p. 819–838, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2006.03185.x>

THOMÉ, M. T. C. et al. Phylogeography of endemic toads and post-Pliocene persistence of the Brazilian Atlantic Forest. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 55, n. 3, p. 1018–1031, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.02.003>

TONETTI, V. R. et al. Taxonomy and molecular systematics of the Yellow-green Grosbeak *Caryothraustes canadensis* (Passeriformes: Cardinalidae). **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 25, n. 3, p. 176–189, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03544396>

TOUCHTON, J. M.; SEDDON, N.; TOBIAS, J. A. Captive rearing experiments confirm song development without learning in a tracheophone suboscine bird. **PloS one**, v. 9, n. 4, p. e95746, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095746>

TU, L.; MCCABE, C.; TORI, W. White-bearded Manakin (*Manacus manacus*), version 1.0. In: **Birds of the World**. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2173/bow.whbman1.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

VIEIRA, F. A. et al. Holocene southward expansion in seasonally dry tropical forests in South America: phylogeography of *Ficus bonijesulapensis* (Moraceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 177, n. 2, p. 189–201, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12241>

WALTHER, B. Bright-rumped Attila (*Attila spadiceus*), version 1.0. In: **Birds of the World**. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2173/bow.brratt1.01>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

WAINER, I. et al. Last Glacial Maximum in South America: paleoclimate proxies and model results. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 8, p. 1–4, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1029/2004GL021244>

WEEKS, B. C. et al. Shared morphological consequences of global warming in North American migratory birds. **Ecology Letters**, v. 23, n. 2, p. 316–325, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13434>

WERNECK, F. P. et al. Revisiting the historical distribution of Seasonally Dry Tropical Forests: new insights based on palaeodistribution modelling and palynological evidence. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 2, p. 272–288, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00596.x>

WERNECK, F. P. et al. Climatic stability in the Brazilian Cerrado: implications for biogeographical connections of South American savannas, species richness and conservation in a biodiversity hotspot. **Journal of Biogeography**, v. 39, n. 9, p.

1695–1706, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2012.02715.x>

WHITNEY, B. S. et al. A 45 kyr palaeoclimate record from the lowland interior of tropical South America. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 307, p. 177–192, 2011. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.05.012>

**WORLDCLIM, GLOBAL CLIMATE**, 2015. Disponível em <http://www.worldclim.org/>. Acesso em: 13 fevereiro 2022.

XENO-CANTO. **Xeno-canto, compartilhando sons de aves do mundo todo**. 2005. Disponível em: <https://xeno-canto.org/>. Acesso em: 16 março 2022.

YANG, S.; BERDINE, G. The receiver operating characteristic (ROC) curve. **The Southwest Respiratory and Critical Care Chronicles**, v. 5, n. 19, p. 34–36, 2017. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/265b/a1812a32186bbdb05f544171d85ec7fb1907.pdf>. Acesso em 3 maio 2022.