



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

NATHÁLIA MARQUES DA SILVA DO NASCIMENTO

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO E VARIAÇÃO VOCAL DO BACURAUZINHO,
Nannochordeiles pusillus (Aves: Caprimulgidae), EM DIFERENTES BIOMAS
NEOTROPICAIS**

SERRA TALHADA – PE

2022

NATHÁLIA MARQUES DA SILVA DO NASCIMENTO

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO E VARIAÇÃO VOCAL DO BACURAUZINHO,
Nannochordeiles pusillus (Aves: Caprimulgidae), EM DIFERENTES BIOMAS
NEOTROPICAIS**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Serra Talhada, 25 de Maio de 2022

Orientador: Alexandre Mendes Fernandes

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)

- N244m Nascimento, Nathália Marques da Silva do
MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO E VARIAÇÃO VOCAL DO BACURAUZINHO, *Nannochordeiles pusillus* (Aves: Caprimulgidae), EM DIFERENTES BIOMAS NEOTROPICAIS / Nathália Marques da Silva do Nascimento. - 2022.
35 f. : il.
- Orientador: Alexandre Mendes Fernandes.
Inclui referências e anexo(s).
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Ciências Biológicas, Serra Talhada, 2022.
1. Biogeografia. 2. Modelagem. 3. Bioacústica. I. Fernandes, Alexandre Mendes, orient. II. Título

NATHÁLIA MARQUES DA SILVA DO NASCIMENTO

**MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO E VARIAÇÃO VOCAL DO BACURAUZINHO,
Nannochordeiles pusillus (Aves: Caprimulgidae), EM DIFERENTES BIOMAS
NEOTROPICAIS**

Aprovada em: 25/05/2022

Profº. Dr. Alexandre Mendes Fernandes (UFRPE-UAST)

Membro Titular / Orientador

Profº. Dr. Fernando Augusto Barbosa Silva (UFRPE-UAST)

Membro Titular

Profº. Dr. Edgar Alberto do Espírito Santo (UFRPE-UAST)

Membro Titular

Aos meus avós, Sofia e Antônio, por sempre acreditarem e investirem em mim, vocês são tudo pra mim.

AGRADECIMENTOS

A minha família, em especial a minha tia, que sempre me apoiou durante esses anos do curso, foi minha base para que eu pudesse conquistar cada objetivo nessa jornada, sem ela nada seria, tem todo o meu amor e admiração pela mulher que é e me inspira a ser.

Ao meu orientador, Professor Alexandre Fernandes, por toda paciência e confiança que depositou em mim durante esses anos, seu apoio foi fundamental pra cada passo que dei até aqui, serei eternamente grata.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

À Professora Lorena Moraes, minha primeira orientadora e a primeira pessoa a acreditar em mim quando nem eu mesma achei que fosse capaz. Muito obrigada pelas conversas pessoais e acadêmicas, você me deu coragem e força durante todos esses anos.

Ao meu amigo Erasmo Andrade por ter sido tão paciente e estar disposto sempre a ajudar, uma das amizades cultivadas na graduação que mesmo com a distância permanece.

À Professora Nicole Pontes, Rayanna Sophia e Patrícia Marques, amigas que o grupo Dadá me deu e pretendo levar pra vida. Agradeço pela acolhida e pelas palavras nos momentos certos, sempre me mostrando novas perspectivas a cada problema. Vocês foram essenciais pra mulher que sou hoje.

Aos meus amigos Allyson Vinícius (Vini), Maria Eduarda (Dudinha) e José Victor (Vico), não sei como posso agradecer por todos esses anos, sempre os três aguentando minhas reclamações e me incentivando a não desistir. Sei que tudo teria sido mais difícil se não tivesse vocês do meu lado, amo cada um e jamais esquecerei cada momento que vivemos juntos.

RESUMO

O Bacurauzinho, *Nannochordeiles pusillus*, possui ampla distribuição em áreas com vegetação aberta e ocorre em diferentes fitofisionomias como Cerrado, Caatinga e Pantanal. Entretanto, a história evolutiva, diferenciação genética e fenotípica do grupo ainda não é bem compreendida, e assim não há um consenso em relação ao número de subespécies existentes para o táxon. Estudos a partir de dados de sequenciamento do DNA mitocondrial e genômicos sugerem que existam duas linhagens morfologicamente distintas em *N. pusillus* separados há cerca de 2 milhões de anos. Uma dessas linhagens tem distribuição em áreas de vegetação abertas na Amazônia, conhecidas como Campinas e apresentam a plumagem da região subcaudal com barras pretas, enquanto que a outra linhagem tem distribuição circum-Amazônica e possuem a plumagem das subcaudais brancas. Assim, o presente trabalho teve por objetivo analisar se há diferenças de distribuição potencial em diferentes períodos (passado, presente e futuro) e se existem diferenças de canto entre as duas linhagens do bacurauzinho. Para isso, utilizamos a modelagem de distribuição, em que são combinados os pontos de ocorrência e os mapas de variáveis ambientais para criar modelos de distribuição. Para investigar variação de vocalizações na espécie, inicialmente foi feito um levantamento dos dados de canto em plataformas online e após uma triagem foram utilizados diferentes parâmetros, sendo a frequência o principal parâmetro analisado. Os resultados obtidos corroboram a existência de duas linhagens, e fortalecem que as duas linhagens devem ser reconhecidas como espécies plenas, já que apresentam diferenças morfológicas, alta divergência genética e vocal, além de possuírem distribuição parapátrica em fitofisionomias distintas. Os dados de bioacústica determinam que a linhagem da Amazônia possui canto mais lento e com maior número de frases, além da frequência, ser menor quando comparada a linhagem circum-Amazônica, sendo que a linhagem de *N. pusillus* circum-Amazônica apresenta canto mais rápido e com frequência mais alta. Em relação a modelagem de distribuição, a linhagem circum-Amazônica é mais generalista, ocorre em diferentes biomas de vegetação aberta e pode não ser afetada pelas mudanças climáticas, mas beneficiada, enquanto a linhagem da Amazônia é especialista das campinas amazônicas e pode sofrer redução populacional devido à perda de habitat pelas alterações de clima. Além da resolução das incertezas taxonômicas, o presente trabalho contribui para que políticas de conservação sejam tomadas, pois além da linhagem da Amazônia, outras espécies são endêmicas das campinas e estas áreas não se encontram dentro das Unidades de Conservação (UC's) de proteção integral, assim o presente trabalho contribuí para que estas sejam definidas como prioritárias para evitar a perda de diversidade biológica endêmica das campinas em decorrência das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Biogeografia. Modelagem. Bioacústica

ABSTRACT

The Bacurauzinho, *Nannochordeiles pusillus*, has a wide distribution in areas with open vegetation and occurs in different phytophysionomies such as Cerrado, Caatinga and Pantanal. However, the evolutionary history, genetic and phenotypic differentiation of the group is still not well understood, and thus there is no consensus regarding the number of subspecies existing for the taxon. Our recent, unpublished studies based on mitochondrial and genomic DNA sequencing data suggest that there are two morphologically distinct lineages in *N. pusillus* separated about 2 million years ago. One of these lineages has a distribution in open vegetation areas in the Amazon, known as Campinas, and has the plumage of the subcaudal region with black bars, while the other lineage has a circum-Amazonian distribution and has white subcaudal plumage. Thus, the present work aimed to analyze whether there are differences in potential distribution in different periods (past, present and future) and whether there are differences in song between the two lineages of the nighthawk. For this, we used the distribution modeling, in which occurrence points and maps of environmental variables are combined to create distribution models. To investigate the variation of vocalizations in the species, initially a survey of singing data was carried out on online platforms and after a screening different parameters were used, with frequency being the main parameter analyzed. The results obtained corroborate the existence of two lineages, and reinforce that the two lineages should be recognized as full species, since they present morphological differences, high genetic and vocal divergence, in addition to having a parapatric distribution in different phytophysionomies. The bioacoustics data determine that the Amazon lineage has a slower song with a greater number of phrases, in addition to the frequency being lower when compared to the circum-Amazonian lineage, and the *N. pusillus* lineage circum-Amazonian has a faster song and with higher frequency. Regarding distribution modeling, the circum-Amazonian lineage is more generalist, occurs in different open vegetation biomes and may not be affected by climate change, but benefited, while the Amazon lineage is a specialist in the Amazonian grasslands and may suffer population reduction. due to loss of habitat by climate change. In addition to resolving taxonomic uncertainties, the present work contributes to the adoption of conservation policies, since in addition to the Amazon lineage, other species are endemic to the campinas and these areas are not within the Conservation Units (UC's) of integral protection, thus, the present work contributes for these to be defined as priorities to avoid the loss of biological diversity endemic to the campinas as a result of climate change.

Keywords: Biogeography. Modeling. Bioacoustics.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localidades utilizadas para realizar a modelagem de distribuição geográfica para as duas linhagens de *N. pusillus*, aqui tratadas como *N. pusillus* da Amazônia e *N. pusillus*.....19
- Figura 2.** Mapa de distribuição para a espécie de *Nannochordeiles* da Amazônia durante o a) Último Máximo Glacial (~21 mil anos antes do presente), b) Presente (1960-1990) e c) Futuro (2050).20
- Figura 3.** Mapa de distribuição para a espécie de *Nannochordeiles pusillus* durante o a) Último Máximo Glacial (~21 mil anos antes do presente), b) Presente (1960-1990) e c) Futuro (2050).....22
- Figura 4.** Representação gráfica (sonogramas) do canto principal das linhagens de *N. pusillus* aqui estudadas. A) *Nannochordeiles pusillus* circum-amazônico (possui duas frases compondo seu canto principal); B) *N. pusillus* amazônico (tendo três frases em seu canto principal).22 e 23
- Figura 5.** Gráfico da Análise de componentes principais (PCA) para *Nannochordeiles pusillus* circum-amazônico (círculo azul) e *N. pusillus* amazônico (círculo rosa).25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado do teste de Shapiro-wilk para o teste de normalidade das variáveis. Sendo considerado as variáveis normais (homogêneas) com o $p > 0.05$23

Tabela 2: Resultado do Teste t para amostras independentes considerando significância com $p\text{-value} > 0.05$ para apresentar diferença entre as médias dos grupos.....24

Tabela 3: Valores médios e desvio padrão para cada variável vocal para as duas linhagens de *Nannochordeiles pusillus*.24

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 11 |
| OBJETIVOS | 12 |
| OBJETIVO GERAL | 12 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| REVISÃO DE LITERATURA | 12 |
| METODOLOGIA | 15 |
| MODELAGEM ECOLÓGICA | 15 |
| DADOS DE OCORRÊNCIA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS | 15 |
| MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL | 16 |
| ANÁLISE BIOACÚSTICA | 17 |
| AMOSTRAGEM E PROCESSAMENTO DOS DADOS | 17 |
| PARAMÊTROS VOCAIS | 17 |
| ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 18 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO | 18 |
| MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO | 18 |
| MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE <i>N. pusillus</i> DA AMAZÔNIA | 19 |
| MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE <i>N. pusillus</i> | 20 |
| ANÁLISES DE CANTO | 22 |
| IMPLICAÇÕES TAXONÔMICAS | 26 |
| IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO | 27 |
| CONCLUSÃO | 29 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |
| ANEXOS | 33 |
| ANEXO A | 33 |
| ANEXO B | 34 |

INTRODUÇÃO

A distribuição dos organismos pode ser condicionada por diferentes fatores como o clima, em que pequenas mudanças na temperatura, umidade ou precipitação, podem acarretar em alterações na dinâmica de populações ou extinção das mesmas. Dessa forma, compreender como a biota responde as alterações climáticas, que estão sendo intensificadas pela antropização, possibilitará que possíveis danos a biodiversidade possam ser evitados. Um dos métodos que podem auxiliar na compreensão das mudanças climáticas é a modelagem de distribuição que parte de predições da distribuição geográfica em diferentes cenários climáticos, seja para o passado (modelagem paleoclimática), o presente e o futuro, permitindo identificar o grau de suscetibilidade dos organismos no decorrer das mudanças climáticas, além de ser utilizada em estudos de conservação e resolução de incertezas taxonômicas (COSTA et al., 2017; MORITZ; AGUDO, 2013; SILVA, 2017; PEREIRA et al., 2016a).

No caso de estudos taxonômicos, a modelagem de distribuição pode ser incorporada a diferentes tipos de análises, como em dados moleculares e/ou bioacústicos de forma que auxilie na identificação e diferenciação de populações. As vocalizações são essenciais nas interações biológicas, permitindo a identificação de parceiros ou alerta de alimento, por exemplo. Desse modo, variações nas vocalizações decorrentes de fatores ecológicos ou mutações podem levar a formação de novas espécies, ou seja, contribuindo para o processo de especiação (SEYFARTH et al., 2010; WEIR; WHEATCROFT, 2011; EDWARDS et al., 2005).

O Bacurauzinho, *Nannochordeiles pusillus*, é uma ave com ampla distribuição Neotropical e ocorre em diferentes paisagens de vegetação aberta como a Caatinga, o Cerrado, o Pantanal, e o Chaco. Porém, não há um consenso em relação as questões taxonômicas dessa linhagem. Novos estudos (FERNANDES et al. 2019) demonstrarem mediante coletas e gravações de canto a ocorrência da linhagem dentro de vegetações abertas de areia branca dentro da Amazônia, as chamadas campinas. Os dados moleculares e morfológicos, ainda sugerem que a linhagem da Amazônia é uma espécie diferente (FERNANDES et al. 2019). O presente trabalho utilizou a modelagem de distribuição como método para determinar a distribuição potencial das linhagens de *N. pusillus* e identificar qual das linhagens, *N. pusillus* circum-Amazônico e *N. pusillus* da Amazônia, será mais afetada pelas mudanças

climáticas, além de utilizar as análises de canto para solucionar incertezas taxonômicas e incorporar a outros dados que serão relevantes para o planejamento de conservação.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Investigar a influência das mudanças climáticas ocorridas desde o Último Máximo Glacial na distribuição geográfica do Bacurauzinho, *Nannochordeiles pusillus* e fazer projeções para o futuro, e determinar se há variação vocal nas duas linhagens.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a distribuição geográfica para as duas linhagens de *N. pusillus*;
- Modelar a distribuição geográfica para as linhagens de *N. pusillus* no passado, presente e futuro;
- Investigar qual das linhagens de *N. pusillus* será mais afetada pelas alterações climáticas;
- Descrever o repertório vocal das duas linhagens de *N. pusillus*;
- Solucionar incertezas taxonômicas a partir da modelagem de distribuição e bioacústica.

REVISÃO DE LITERATURA

O clima é um dos fatores que possui grande influência na distribuição dos organismos e atua no processo de diversificação das espécies, podendo prever mais de 70% da biodiversidade terrestre e marinha (HOORN et al., 2010). Pequenas alterações na temperatura ou precipitação podem induzir mudanças na distribuição geográfica dos organismos ou acarretar a extinção de espécies (COSTA et al., 2017). Desse modo, entender como os organismos respondem as flutuações climáticas intensificadas por ações humanas possibilita identificar possíveis riscos da perda de biodiversidade (MORITZ; AGUDO, 2013).

Um dos métodos para investigar o efeito das flutuações climáticas na distribuição geográfica dos organismos é a modelagem de distribuição. Diferentes trabalhos (BATALHA-FILHO et al., 2013; BUENO et al., 2016; MORITZ; AGUDO, 2013; SILVA, 2018) têm utilizado a modelagem como método para realizar simulações do passado (modelagem paleoclimática), do presente e futuro para compreender como determinada espécie responde as alterações climáticas. Os dados gerados com a modelagem de distribuição possibilitam retratar mudança na área potencial de ocorrência, ou seja, a resposta do organismo às mudanças climáticas, assim é possível identificar o grau de suscetibilidade da biota as mudanças.

Estudos com aves vem utilizando a modelagem de distribuição como método para integrar análises filogenéticas e bioacústicas (BATALHA-FILHO et al., 2013; PEREIRA et al., 2016; RODRIGUES, 2017; FERNANDES et al., 2019; LIMA-REZENDE et al., 2019; SILVA et al., 2019; SILVA, et al., 2019) na resolução de incertezas taxonômicas e de conservação das aves (BUENO, 2012; SILVA, 2013; PEREIRA et al., 2016a; PEREIRA et al., 2016b; SILVA, 2017). A partir da modelagem de distribuição é possível prever se organismos associados a diferentes condições climáticas podem sofrer redução populacional, bem como comparar respostas entre diferentes linhagens e prever quais serão mais afetadas por modificações do clima e degradação ambiental.

A modelagem de distribuição tem sido um método para investigar o efeito das flutuações climáticas na distribuição geográfica dos organismos. Este mecanismo combina a localidade, um par de longitude-latitude correspondendo ao local de ocorrência da espécie (dados geográficos georreferenciados), junto de envelopes de variáveis ambientais caracterizando o ambiente que é fracionado em pixels. O objetivo dessa técnica é mapear as localidades conhecidas de modo a prever quais áreas possuem proximidade dos requisitos climáticos para a ocorrência da espécie a partir das variáveis ambientais e assim estimar a sua distribuição potencial. (SOBERÓN; PETERSON, 2005; PHILLIPS et al., 2004, 2006; GRAHAM et al., 2004; DALAPICOLLA, 2016).

A bioacústica tem fornecido grande contribuição em estudos taxonômicos, como na identificação de diferenças nas populações e por isso é incorporada em outras análises como de dados moleculares ou de modelagem. As vocalizações atuam como um fator essencial nas interações biológicas de diferentes organismos

proporcionando a comunicação em diferentes situações, seja um alerta para alimento ou presença de predadores, como também contribuir significativamente no processo de especiação (SEYFARTH et al., 2010; WEIR; WHEATCROFT, 2011; SALES, 2016).

Assim, o canto das aves, além da plumagem e do comportamento, influencia na escolha do parceiro. Portanto, alterações no canto que resultem em variações vocais podem contribuir na formação de novas espécies (EDWARDS et al., 2005). Segundo Weir e Wheatcroft (2011), a variação vocal é decorrente de três fatores: 1) adaptação acústica a fatores ecológicos ou ambientais, 2) novas mutações que podem favorecer a espécie na estimulação de respostas a sinais como por exemplo, a seleção sexual, 3) interações interespecíficas que podem resultar na aproximação ou distanciamento dos sons como, por exemplo, a presença de predadores ou competidores.

O Bacurauzinho, *Nannochordeiles pusillus*, é uma ave com ampla distribuição Neotropical e ocorre em diferentes paisagens de vegetação aberta como a Caatinga, o Cerrado, o Pantanal, e o Chaco. Entretanto, não existe concordância entre estudos taxonômicos realizado por diferentes autores. Por exemplo, Peters (1940) sugere que existem duas subespécies para *N. pusillus*, contudo, Dickerman (1987) propõe seis subespécies. Mas, os dados dos dois estudos não representam a real distribuição da espécie. Estudos recentes (FERNANDES et al. 2019) a partir de registros documentados com coletas e gravações de cantos, demonstram que o bacurauzinho também ocorre na Amazônia Central em áreas de vegetações abertas de areia branca conhecidas como Campinas.

Os dados morfológicos de Fernandes et al., sugerem que *Nannochordeiles* da Amazônia tem a plumagem do ventre com barras pretas e *N. pusillus* circum-Amazônico possui o ventre branco. Em uma análise superficial de gravações da vocalização dessa ave, A. M. Fernandes e colaboradores sugerem que o tipo morfológico da Amazônia possui o canto distinto das populações de fora da Amazônia e dados moleculares estimam que a divergência genética entre os dois tipos morfológicos (populações de dentro e fora da Amazônia) estão separados há cerca de 2 milhões de anos, o que sugere que são espécies distintas e que a linhagem da Amazônia é uma espécie nova.

Neste projeto utilizamos modelagem de distribuição para determinar a potencial distribuição geográfica das principais linhagens de *N. pusillus* com o objetivo de solucionar incertezas taxonômicas, além de investigar qual das duas linhagens, *N. pusillus* circum-Amazônico e *N. pusillus* da Amazônia será mais afetada por mudanças climáticas ocorridas desde o Último Máximo Glacial e fazer previsões para o futuro. Associado aos dados de modelagem, investigamos também o repertório vocal das duas linhagens. Os dados de distribuição e de canto serão utilizados com o objetivo de determinar se a linhagem da Amazônia possui canto e distribuição potencial diferente de *N. pusillus* circum- Amazônico, além de serem incorporados as análises genéticas e morfológicas que estão sendo realizados pelo coordenador desse projeto, A. M. Fernandes e colaboradores. Esses dados serão relevantes para o planejamento de conservação ao identificar qual das linhagens pode ser afetada pela redução das potenciais áreas de ocorrência.

METODOLOGIA

MODELAGEM ECOLÓGICA

DADOS DE OCORRÊNCIA E VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Para a realização da modelagem de distribuição foi feito um levantamento dos pontos de ocorrência das linhagens de *Nannochordeiles pusillus*. Para isso foi utilizado dados de campo da pesquisa de A. M. Fernandes e colaboradores e dados de coletas presentes em coleções ornitológicas das seguintes instituições: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, Museu Paraense Emílio Goeldi, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Smithsonian National Museum of Natural History, American Museum of Natural History, e Louisiana State University.

Todas as instituições anteriormente citadas encaminharam informações correspondentes aos espécimes solicitados como: o número de identificação da ave na instituição (tecido e/ou tombo), localidade em que foi registrada e a coordenada geográfica (latitude e longitude, em grau ou decimal), além de informações adicionais presentes nas etiquetas de identificação. Somado as informações, algumas das instituições encaminharam imagens para que fosse feito um reconhecimento e confirmação a partir da morfologia.

Além dos dados das coleções ornitológicas, foram coletados informações presentes no bancos de dados online Xeno-canto (<http://xeno-canto.org/>) que contem gravações de cantos. Todas as gravações de cantos utilizadas foram analisadas para confirmar a identificação. Estes dados de ocorrência primeiramente foram sistematizados em uma planilha do Excell, em seguida foi feita uma triagem para retirar os pontos duplicados para depois serem mapeados.

As variáveis ambientais desenvolvidos pelo BIOCLIM (BOOTH et al., 2014) foram obtidas da plataforma digital Worldclim (<http://www.worldclim.org/>) com resolução de 2,5 arc min. (ANEXO A) (FICK; HIJMANS, 2017; LEDO; COLLI, 2017; RODRIGUES, 2017), sendo formadas por mapas bioclimáticos. Estas variáveis a partir do software R 3.3.0. (R Core Team; disponível em <http://www.r-project.org/>), passaram por testes de correlação que excluiu variáveis que possuíssem alta correlação ($r \geq 0,8$), ou seja, evitando a redundância das mesmas.

MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL

Para gerar/estimar os modelos de distribuição para as flutuações climáticas do Quaternário foram utilizadas as variáveis do Worldclim (<http://www.worldclim.org/>) (FICK; HIJMANS, 2017), contando com dados para o Presente (1960-1990), o Último Máximo Glacial (~21 mil anos antes do presente) e Futuro (2050). Estas variáveis, como dito anteriormente, foram submetidas a testes de correlação excluindo as que possuíssem alta correlação ($r \geq 0,8$).

Com a utilização do algoritmo Maxent (Maximum Entropy Machine Learning Algorithm) dentro do software R 3.3.0. (R Core Team; disponível em <http://www.r-project.org/>) foi possível realizar a modelagem de distribuição dentro das flutuações climáticas de interesse. Este algoritmo utiliza os dados correspondentes as variáveis ambientais (sendo estas medidas ou estimadas nas regiões geográficas) e os relaciona com os dados georreferenciados (as coordenadas onde a espécie foi avistada), nisso gera pontos no espaço ambiental, resultando num modelo de distribuição potencial. Esse modelo se dá pelas probabilidades geradas que preveem qual das regiões atendem aos requisitos das espécies, ou seja, qual área possuía as condições adequadas para a distribuição da espécie para depois resultar num mapa de distribuição potencial (PHILLIPS et al., 2004, 2006). Tanto para o LGM, Presente e

Futuro, as predições de modelagem de distribuição geraram mapas individuais que foram resultados de 10 replicações realizadas ao longo de toda modelagem com parâmetros alterados.

ANÁLISE BIOACÚSTICA

AMOSTRAGEM E PROCESSAMENTO DOS DADOS

As vocalizações foram obtidas de bancos de dados online como o Macaulay Library of Natural Sounds (www.macaulaylibrary.org), Xeno-canto (<http://www.xeno-canto.org>) e de nossas pesquisas em campo (Fernandes et al. 2019). As gravações que possuíram baixa qualidade contendo ruídos, sobreposição da vocalização de outras aves, pouca captação de som ou estiveram incompletas foram descartadas. A partir da triagem, as vocalizações foram cortadas e tendo diminuição de pequenos ruídos com a utilização do Audacity 2.1.1, assim como os dados do Xeno-canto no formato mp3 foram convertidos para o formato WAV (waveform audio file format) (SALES, 2016).

Os arquivos contendo os cantos principais foram importados no Raven Pro 1.6 (CHARIF et al, 2010) para a realização das análises de variação vocal e gerar os espectogramas. Foram utilizadas nas análises bioacústicas parâmetros que não são afetados pelo formato dos áudios (SALES, 2016), sendo assim para cada vocalização foi analisado os seguintes parâmetros vocais (CHARIF et al, 2010): Low Freq (Hz), High Freq (Hz), Max Amp (U), MaxFreq (Hz), Center Freq (Hz), Delta Time (s), Min Amp (U).

PARAMÊTROS VOCAIS

Conforme o manual do Raven Pro 1.4 (CHARIF et al., 2010), os parâmetros vocais citados anteriormente foram descritos:

Alta Frequência (High Frequency): A maior frequência alcançada durante a faixa. Unidade: Hz.

Baixa Frequência (Low Frequency): A menor frequência alcançada durante toda a seleção. Unidade: Hz.

Amplitude máxima (Max Amplitude): Implica no valor máximo de toda a faixa

Amplitude mínima (Min Amplitude): Implica no valor mínimo de toda a faixa

Frequência central (Center Frequency): Corresponde a frequência que irá dividir a faixa em intervalos que possuam a mesma energia. Unidade: Hz

Frequência máxima (Max Frequency): Compreende a frequência no tempo com maior amplitude da faixa. Unidade: Hz.

Tempo Delta (Delta Time): A diferença entre os parâmetros de início e término da seleção, ou seja, a duração do canto. Unidade: Segundos.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA BIOACÚSTICA

A partir do software R Core Team (R Foundation for Statistical Computing, 2016), os dados foram aplicados ao método estatístico de Análise de componentes principais (PCA). Essa metodologia tende a diminuir a dimensão dos dados sem que haja perda das informações, ou seja, há uma compressão das variáveis que são inter-relacionadas de modo que haja uma redução dos dados (HONGYU et al., 2015).

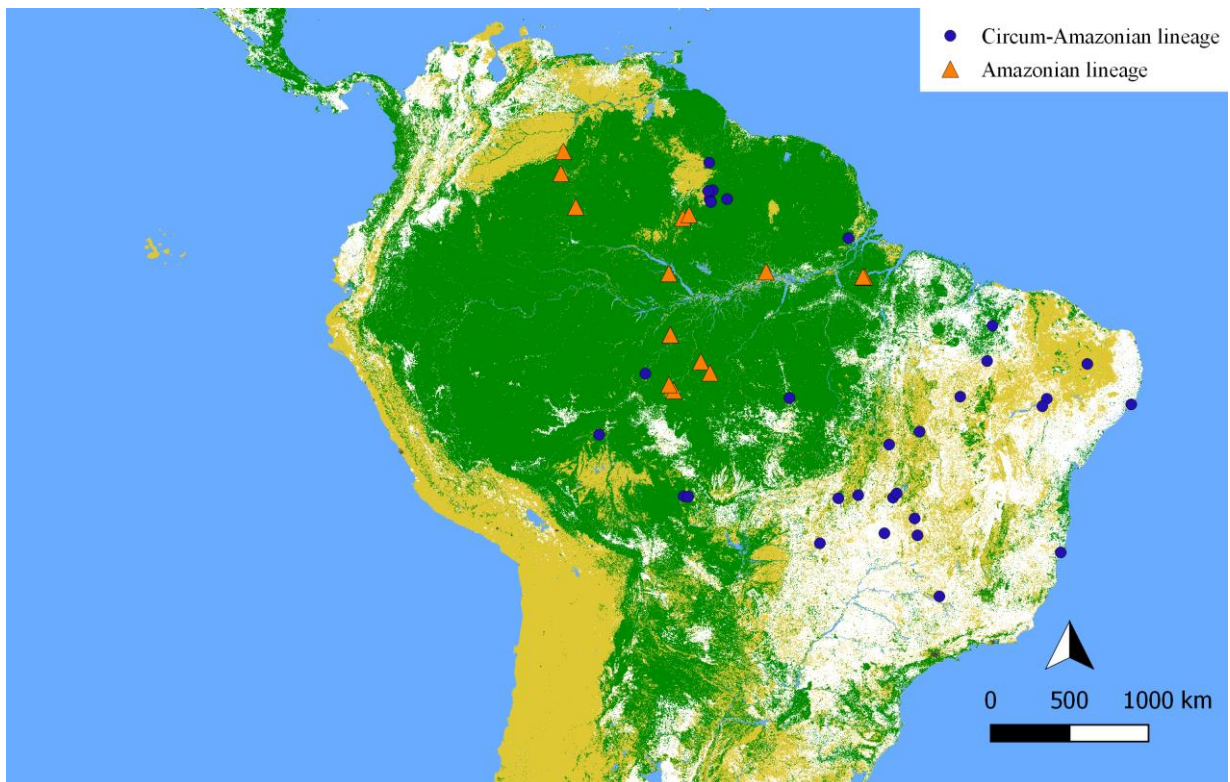
Em seguida, utilizando o programa os dados sistematizados passaram pelo teste de normalidade para auxiliar na escolha do teste estatístico, seja ele paramétrico ou não paramétrico. Nisso, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk por levar em consideração o número de elementos das populações aqui estudados ($N < 50$) e possuir grande eficiência quando comparado a outros testes de normalidade (RAZALI; WAH, 2011). Após testar a normalidade dos grupos, o tipo de estudo e a quantidade de grupos para realizar, o teste estatístico utilizado foi o Test t, sendo um teste utilizado para determinar a diferença entre as médias de dois grupos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO

Foram obtidos 121 pontos de ocorrência para as duas linhagens de *Nannochordeiles pusillus*, porém foram considerados somente um único registro para cada localidades que reduziu para 51 o número de pontos usados na modelagem: 17 pontos para a linhagem de *Nannochordeiles* da Amazônia e 34 para o

Nannochordeiles pusillus, linhagem circum- Amazônica (Figura 1). Ambas as linhagens possuem contribuição das mesmas variáveis ambientais devido a região escolhida para realizar o corte durante a realização da modelagem. Sendo assim, 9 das 19 variáveis foram menos correlacionadas e atuaram nas variáveis ambientes para o Último Máximo Glacial, Presente e Futuro (ANEXO B) (FICK; HIJMANS, 2017).



Fonte: Do próprio autor.

Figura 1. Localidades utilizadas para realizar a modelagem de distribuição geográfica para as duas linhagens de *N. pusillus*, aqui tratadas como *N. pusillus* da Amazônia (Amazonian lineage) e *N. pusillus* (Circum-Amazonian lineage).

MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE *N. pusillus* DA AMAZÔNIA

A distribuição mapeada (Figura 1.) e modelada para o Presente (1960- 1990) de *Nannochordeiles* da Amazônia (Figura 2b) possuem grande similaridade, contudo é possível observar que na modelagem as regiões correspondentes a distribuição potencial são maiores quando comparadas as regiões realmente ocupadas, pois, como Dalapicolla (2016) retrata, a distribuição potencial não leva em consideração diferentes fatores, como fatores bióticos ou influencia humana, mas apenas a probabilidade de ocorrência. Assim, o modelo para as projeções atuais mostra possíveis regiões de distribuição compreendendo o oeste dos Andes, onde não

existem registros para a espécie além das localidades onde a espécie possui registros como a Amazônia Central, Pará, Venezuela e Colômbia. As áreas ocupadas e de potencial ocorrência com adequabilidades climáticas para a linhagem é similar a distribuição geográfica das Campinas (áreas de savanas dentro da Floresta Amazônica) delimitadas por Ferreira (2009).

As projeções paleoclimáticas para linhagem de *N. pusillus* dentro da Amazônia durante o Último Máximo Glacial (LGM, ~21 mil anos antes do presente) sugerem um aumento das potenciais áreas ocupadas, em que nas condições do LGM regiões semelhantes as savanas tiveram um bom alcance. A modelagem para o Futuro (2050) de *N. pusillus* dentro da Amazônia (Figura 2c) sugere que esta linhagem possui redução da sua área potencial, ou seja, em condições com aumento da temperatura decorrente da queima de combustíveis fósseis, a tendência dessa linhagem é retração e diminuição de áreas potenciais quando comparada aos tempos passados. Isso pode ser explicada porque *N. pusillus* na Amazônia é uma espécie especialista de Campinas e uma modificação considerável do seu habitat mediante as condições de desertificação (esperado para a Amazônia no decorrer das mudanças climáticas) acarretará na perda de seu habitat e assim esta linhagem não responderá de maneira positiva as mudanças climáticas.

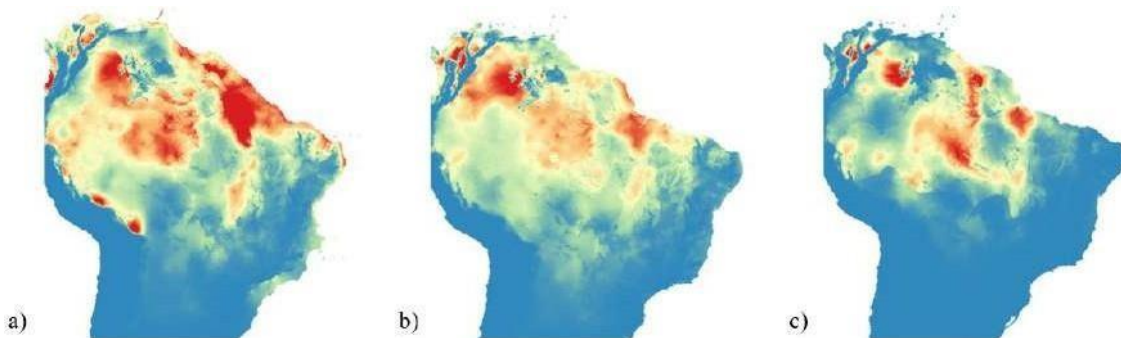


Figura 2. Mapa de distribuição para a espécie de *Nannochordeiles* da Amazônia durante o a) Último Máximo Glacial (~21 mil anos antes do presente), b) Presente (1960-1990) e c) Futuro (2050).

Fonte: Do próprio autor.

MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE *N. pusillus* Circum-Amazonica

A linhagem *N. pusillus* também possui semelhança dos dados mapeados (Figura 1.) e modelados para o Presente (1960-1990) (Figura 3b). A modelagem determinou um leve expansão em relação a distribuição potencial para a linhagem

circum-Amazônica (*N. pusillus*), porém continua sendo bastante semelhante aos locais onde a espécie possui registros documentados (Figura 1). As áreas previstas (Figura 3b), ou seja, regiões de potencial ocorrência corroboram com as regiões ocupadas e aqui mapeadas. Essa espécie ocupa regiões de savanas, porém dentro de diferentes domínios como Cerrado, Caatinga, Pantanal e áreas degradadas.

A modelagem de distribuição de *N. pusillus* para o Último Máximo Glacial (LGM, ~21 mil anos antes do presente, Figura 3a) determinou diminuição de áreas potenciais quando comparado ao presente (Figura 3b). Quando comparado aos dados mapeados para a linhagem *N. pusillus* (Figura 1.), houve diminuição das áreas para o LGM, contudo as regiões dentro do Planalto Central foram, principalmente, acentuadas e podem atuar como possíveis refúgios pela adequabilidade climática, bem como áreas dentro da Guayana e um pouco da Venezuela.

A projeção de *N. pusillus* para o Futuro (2050) (Figura 3c) em que previsões de clima sugerem aumento na temperatura determinou ampliação da distribuição dessa linhagem de modo que provavelmente possa ocorrer da espécie adentrar a Amazônia e se adaptar as condições da Amazônia degradada (esperado dentro das alterações climáticas). Essa previsão corrobora com os dados mapeados (Figura 1) em que *N. pusillus* é uma espécie generalista, registrada em diferentes paisagens e em regiões degradadas. Assim, essa linhagem se beneficiará com o desmatamento e não será afetada pelas mudanças climáticas.

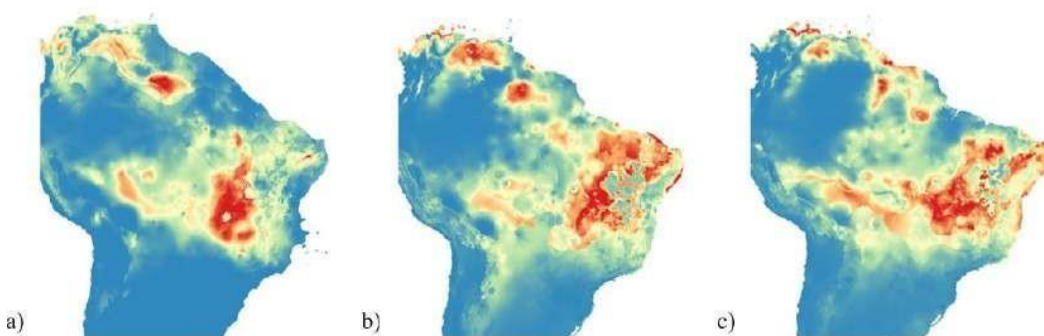


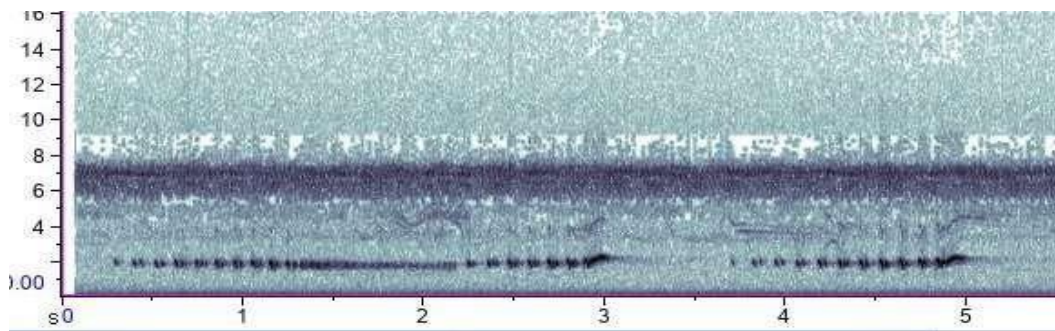
Figura 3. Mapa de distribuição para a espécie de *Nannochordeiles pusillus* durante o a) Último Máximo Glacial (~21 mil anos antes do presente), b) Presente (1960-1990) e c) Futuro (2050).

Fonte: Do próprio autor.

ANÁLISES DE CANTO

No banco de dados do Xeno-canto (<http://www.xeno-canto.org>), foram disponibilizados 34 cantos para *Nannochordeiles pusillus*, contudo, após a triagem para levantar dados que possuíssem boas gravações e compreendessem o canto principal completo, restaram 5 cantos para as linhagens de *N. pusillus*. Desses 5 cantos, 3 eram de *Nannochordeiles pusillus* e 2 de *N. pusillus* amazônico, sendo que parte desses dados vem de coletas de colaboradores da pesquisa. De modo geral, os cantos entre as duas linhagens possuem diferenças quanto o número de frases (Figura 1) e diferenças em relação aos parâmetros acústicos (Tabela 1).

A)



Fonte: Do próprio autor.

B)

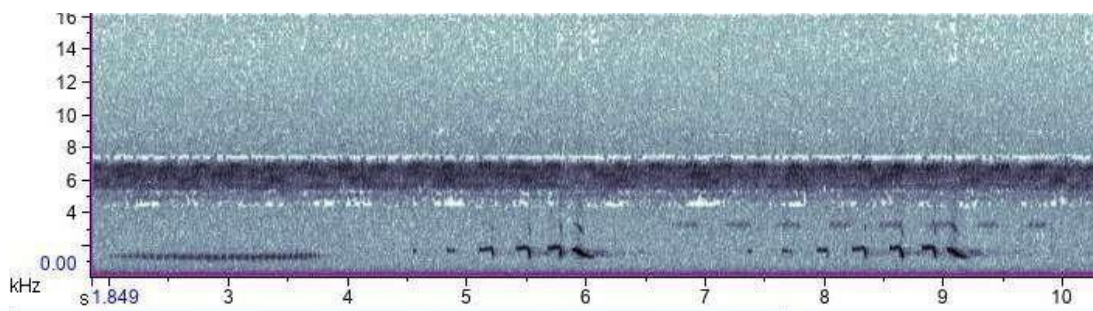


Figura 4: Representação gráfica (sonogramas) do canto principal das linhagens de *N. pusillus* aqui estudadas. A) *Nannochordeiles pusillus* circum-amazônico (possui duas frases compondo seu canto principal); B) *N. pusillus* amazônico (tendo três frases em seu canto principal).

Fonte: Do próprio autor.

Para determinar qual o teste será utilizado para verificar as variáveis para as duas linhagens, inicialmente, foi realizado o teste de Shapiro-wilk (Tabela 1) considerando que para a normalidade dos dados deveria ser considerado os valores com $p > 0.05$. Dentre as variáveis analisadas, com a exceção da Frequência máxima e central, os dados mostraram valores com $p > 0.05$, assim, associando ao tipo do teste

e a quantidade a ser analisada, foi atribuído teste paramétrico para analisar as diferenças entre as duas linhagens, neste caso sendo o Teste t escolhido (Tabela 2) e em seguida os valores para média e desvio padrão (Tabela 3).

Tabela 1: Resultado do teste de Shapiro-wilk para o teste de normalidade das variáveis. Sendo considerado as variáveis normais (homogêneas) com o $p > 0.05$.

*S: Significante; N/S: Não significante

| Variáveis | <i>N. pusillus</i> | <i>N. pusillus</i> da Amazônia | Significância |
|------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------|
| Low Freq (Hz) | 0,5317 | 0,8928 | S |
| High Freq (Hz) | 0,7066 | 0,1771 | N/S |
| Max Amp (U) | 0,277 | 0,2275 | S |
| Max Freq (Hz) | 2.2e-16 | 2.2e-16 | N/S |
| Center Freq (Hz) | 2.2e-16 | 2.2e-16 | N/S |
| Delta Time (s) | 0,07443 | 0,02826 | N/S |
| Min Amp (U) | 0,3679 | 0,1533 | S |

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 2: Resultado do Teste t para amostras independentes considerando significância com $p\text{-value} > 0.05$ para apresentar diferença entre as médias dos grupos.

*S: Significante; N/S: Não significante

| Parâmetros acústicos | p-valor | Significância |
|----------------------|----------|---------------|
| Low Freq (Hz) | 0,02783 | S |
| High Freq (Hz) | 0,02783 | S |
| Max Amp (U) | 0,2858 | N/S |
| Max Freq (Hz) | 0,07662 | S |
| Center Freq (Hz) | 0,07662 | S |
| Delta Time (s) | 0,004944 | S |
| Min Amp (U) | 0,3328 | N/S |

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 3: Valores médios e desvio padrão para cada variável vocal para as duas linhagens de *Nannochordeiles pusillus*.

| Variáveis | <i>N. pusillus</i> | <i>N. pusillus da Amazônia</i> |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Low Freq (Hz) | 877,5(±238,6883) | 222,2(±118,7939) |
| High Freq (Hz) | 3022,367(±227,1745) | 2427,2(±184,272) |
| Max Amp (U) | 13671,54(±11960,59) | 23587(±2305,168) |
| Max Freq (Hz) | 1930,209(±237,2552) | 1464,258(±0,0) |
| Center Freq (Hz) | 1951,042(±201,1708) | 1464,258(±0,0) |
| Delta Time (s) | 5,065633(±0,476127) | 8,28025(±0,1000556) |
| Min Amp (U) | -14326(±10349,08) | -21883(±1436,841) |

Fonte: Do próprio autor

A análise de componentes principais (PCA, Figura 2) mostra que a primeira componente compreende 64.5% da variabilidade dos dados enquanto a segunda componente está relacionada a 24.4%, ou seja, essas componentes foram utilizadas para analisar a correlação do mapa por apresentarem alta porcentagem que compreenda a maioria da variabilidade dos dados. De modo geral, as linhagens em relação as variáveis são inversamente proporcionais, pois *N. pusillus* da Amazônia apresentam valores maiores para a variável da duração do canto (Delta time) e máxima amplitude (Max Amplitude), enquanto *N. pusillus* não possui aumento nessas variáveis, mas está relacionado a três das variáveis: Frequência máxima (Max Frequency), Frequência central (Center frequency) e Alta frequência (High Frequency). Alguns espécimes de *N. pusillus* continuam tendendo para dimensão 1, contudo, possuindo uma Baixa frequência (Low Frequency) e Amplitude mínima (Min Amplitude).

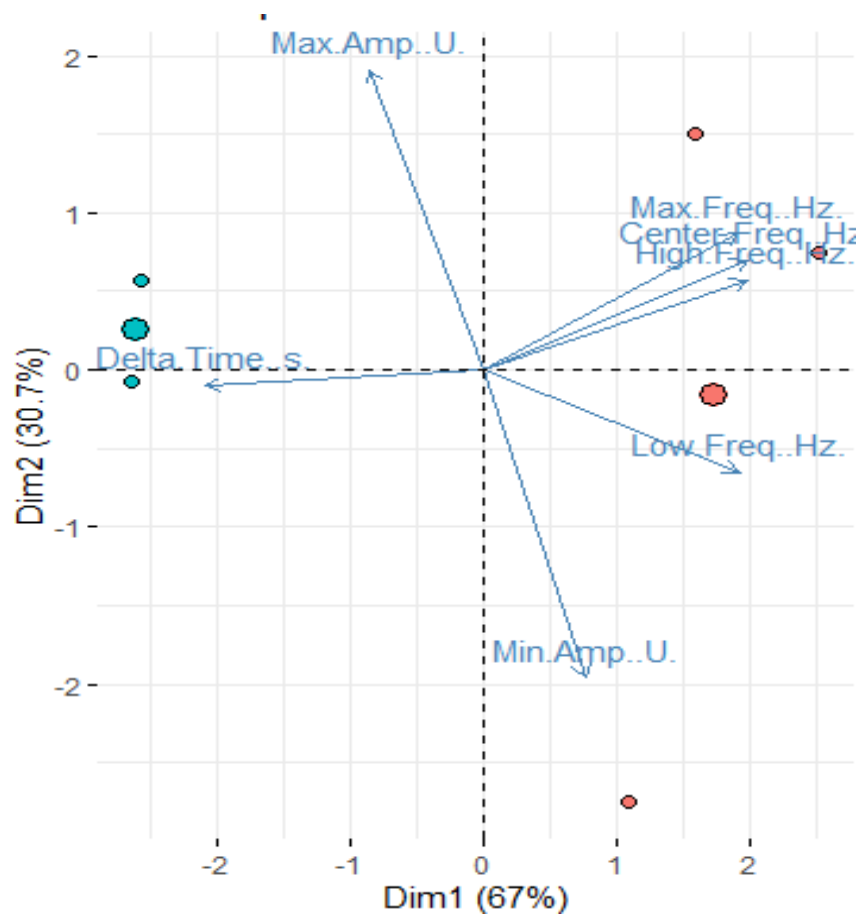


Figura 5: Gráfico da Análise de componentes principais (PCA) para *Nannochordeiles pusillus* circum-amazônico (círculo azul) e *N. pusillus* amazônico (círculo rosa).

Fonte: Do próprio autor

Com as análises obtidas, é possível destacar com o teste t para amostras independentes (Tabela 2) que a maioria dos parâmetros adotados são significativos, ou seja, possuem diferenças entre as médias dos grupos *N. pusillus* circum-Amazônico e *N. pusillus* da Amazônia. Esses dados corroboram o que foi proposto por Weir e Wheatcroft (2011), a depender das condições do meio, as vocalizações podem se modificar de modo a alterar a forma do canto para que este se adapte as condições de modo que a informação sonora seja repassada (MENDONÇA, 2009).

Nossas análises demonstram que o parâmetro mais detalhado foi a frequência e todas as análises utilizadas mostram uma clara diferença entre as duas linhagens, em que *N. pusillus* apresenta os valores para frequência mais altos quando comparados aos dados da linhagem da Amazônia. A hipótese da adaptação acústica propõe que para minimizar gastos de energia, o canto das aves se adapta ao ambiente a partir de mudanças em parâmetros acústicos. Espécies que ocupam regiões de floresta tendem a possuir canto com baixa frequência. Pois, barreiras físicas podem atrapalhar na dissipação do som e este som emitido irá reverberar. Porém, espécies que ocorrem em ambientes de vegetação aberta tendem a possuir canto com alta frequência e canto rápido, já que o vento pode auxiliar na dissipação do som de modo a dissipar por longas distâncias (NICHOLLS; GOLDIZEN, 2006; BLUMSTEIN; TURNER, 2005). Logo, a adaptação acústica permite que a informação sonora seja repassada de forma a minimizar gasto de energia.

Nossos dados corroboram com a hipótese de adaptação acústica, já que *N. pusillus* da Amazônia que tem distribuição amazônica possui valores baixos para frequência, a melodia de seu canto é mais lenta enquanto *N. pusillus*, uma linhagem que ocorre em regiões de vegetação aberta fora da Amazônia, possui além de um canto com altos valores nos parâmetros de frequência, a melodia é mais rápida quando comparada com *N. pusillus* da Amazônia. (Figura 3).

IMPLICAÇÕES TAXONÔMICAS

As análises da modelagem de distribuição e de canto para as duas linhagens de *N. pusillus* corroboram que não existe sobreposição da distribuição e que há variação vocal entre ambas as linhagens, sendo que cada uma das linhagens ocorre em diferentes ambientes. Vale ressaltar que na literatura os únicos registros de *N. pusillus* na Amazônia são nas bordas (DICKERMAN, 1987), porém, a partir do presente trabalho foi possível demonstrar pelos dados dos espécimes de museus e instituições científicas levantados e com a modelagem de distribuição que a espécie ocorre na Amazônia. Entretanto, como já mencionado, existem evidências baseados em dados morfológicos, vocais e genéticas (FERNANDES et al., 2019) que a linhagem das Campinas Amazônicas merece ser reconhecida como uma espécie, ou seja, elevar seu grau de subespécie para espécie. A espécie circum-Amazônica, *N. pusillus*, possui ampla distribuição de modo a ser encontrada em ambientes com fitofisionomias

diferentes enquanto que a linhagem de *N. pusillus* dentro da Amazônia é especialista em ambientes de areia branca na Amazônia, conhecidos como Campinas.

Assim, as análises de modelagem de distribuição geográfica associadas as análises de bioacústicas bem como as análises genéticas, que mostram uma alta divergência entre as duas linhagens, e dados morfológicos sugerem que as duas linhagens merecem ser tratadas como espécies distintas. Conforme Aleixo (2009) retrata, estudos taxonômicos utilizando diferentes métodos auxiliam a conhecer a real diversidade e distribuição da avifauna, além de agregar resultados para conservação. Desse modo, a modelagem de distribuição associada a bioacústica, morfologia e genética forneceram informações biogeográfica e taxonômicas relevantes para conservação ao corroborar a existência de uma nova espécie com distribuição restrita e especialista em ambientes de Campinas na Amazônia.

IMPLICAÇÕES PARA CONSERVAÇÃO

Os dados do presente trabalho fornecem evidências da importância de conservar as Campinas da Amazônia. A espécie nova de *N. pusillus* que tem distribuição na Amazônia é mais um bom exemplo da existência de alta especialização por habitat em aves e da existência de aves endêmicas de Campinas. Como *N. pusillus* da Amazônia, existem outras espécies endêmicas especialistas de Campinas (COHN-HAFT et al., 2013; CAPURUCHO et al., 2013; MATOS, 2014) que podem sofrer redução das suas áreas com o aumento das temperaturas nos cenários futuros.

Marini e Garcia (2005) mostram que as interferências humanas continuam afetando de forma significativa os ecossistemas naturais brasileiros, contudo a resposta das aves irá variar. No caso de *N. pusillus* da Amazônia pode haver uma redução populacional decorrente da degradação e fragmentação do habitat, enquanto *N. pusillus* se mostra uma espécie que se beneficia das alterações do habitat e pode aumentar suas populações. Dessa maneira, sugerimos que planejamentos de conservação na Amazônia incluam áreas de Campina.

Roda et al. (2011) retrata que para a conservação das espécies ser efetiva, usufruir da legislação ambiental é imprescindível quando a perda de habitat é o principal empecilho na conservação. Com os dados de Fernandes et al. (2019) e do presente trabalho é possível identificar uma espécie especialista de Campinas que

terá sua distribuição geográfica reduzida devido às mudanças climáticas associadas às altas taxas de desmatamento na Amazônia e a tendência é uma redução das Campinas e organismos endêmicos desse tipo de ambiente. No estudo de Ferreira (2009) sobre a flora das campinas foi demonstrado que existe alta diversidade florística e endemismo de plantas, o que reforça a importância de priorizar a conservação desse tipo de ambiente.

Uma das aplicações da legislação ambiental possíveis é a criação de Unidades de Conservação (UC) estabelecidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) em 2000 que um dos objetivos é manter e contribuir na preservação da biodiversidade do território nacional (BRASIL, 2000). Utilizando o mapa com as informações das UC's com proteção integral disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2017, é possível identificar com os pontos de ocorrência de *N. pusillus* dentro da Amazônia que a maioria das áreas ocupadas pela linhagem não estão dentro dos limites das UC's com proteção integral (Figura 4). Assim, a proposta é que UC's de Proteção Integral nas campinas Amazônicas sejam criadas de modo a conservar as áreas de ocorrência e de distribuição potencial, pois regiões com UC's que possuem planos de manejo bem elaborados conseguem conservar aves endêmicas e/ou ameaçadas de extinção dentro dos limites (PEREIRA, 2016; RODA et al., 2011).

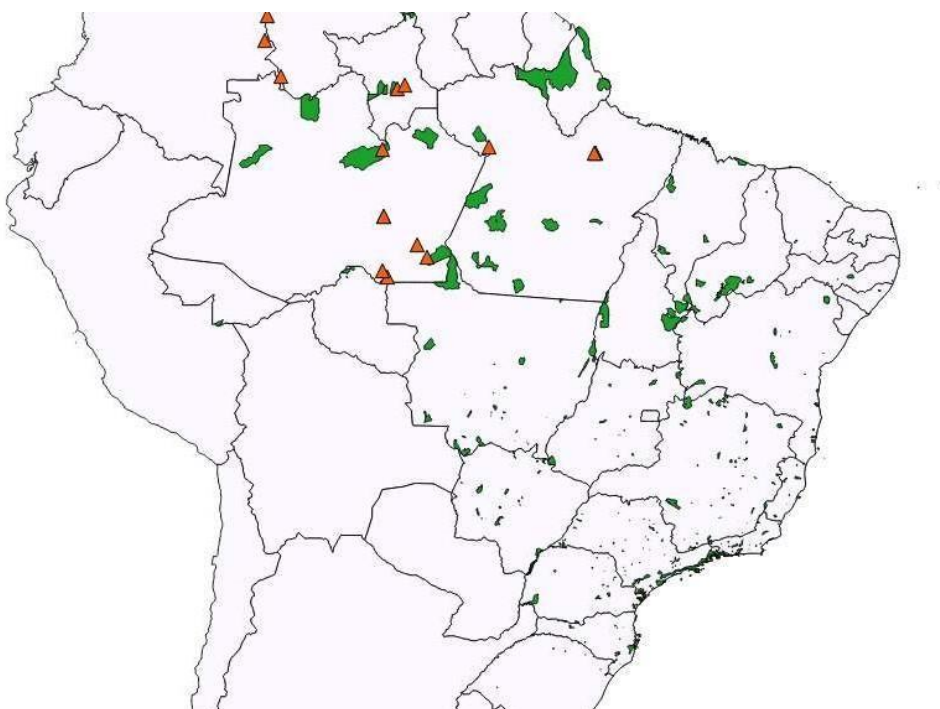


Figura 6. Distribuição das Unidades de Conservação (UC) disponibilizadas pelo IBGE (2017).

Triângulos em laranja correspondem a *N. pusillus* dentro da Amazônia.

Fonte: Do próprio autor.

CONCLUSÃO

A modelagem de distribuição geográfica das duas linhagens do Bacurauzinho, *Nannochordeiles pusillus*, para o Último Máximo Glacial, Presente e Futuro mostram diferenças entre a distribuição das linhagens. Os dados mostram que uma das linhagens possui distribuição restrita e é especialista das campinas amazônicas, diferente da linhagem circum-amazônica que ocorre em diferentes domínios. A modelagem de distribuição para *N. pusillus* dentro da Amazônia sugere que no decorrer das mudanças climáticas esta linhagem estará mais suscetível a uma redução populacional pela diminuição de habitat. Os dados demonstram que os cantos das linhagens de *N. pusillus* possuem diferenças significativas entre si e fortalece que a linhagem da Amazônia seja uma nova espécie. A linhagem da Amazônia possui canto mais lento e com maior número de frases, além da frequência, principal parâmetro aqui analisado, ser menor quando comparada a linhagem circum-Amazônica. A linhagem de *N. pusillus* circum-Amazônica apresenta canto mais rápido e com frequência mais alta. Logo, medidas de conservação como Unidades de Conservação (UC's) de proteção integral podem ser um método eficaz para evitar essa diminuição populacional de *N. pusillus* na Amazônia. Além disso, os dados aqui gerados podem ser incorporados ao sequenciamento genômico, que mostra uma história de separação evolutiva de 2 milhões de anos entre as linhagens, bem como os dados morfológicas (FERNANDES et al., 2019) para retratar a distinção entre uma linhagem circum-Amazônica e a existência de uma nova espécie de *Nannochordeiles* com distribuição restrita às Campinas da Amazônia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEIXO, Alexandre. Knowledge gaps, research priorities, and future perspectives on bird conservation in the Brazilian Amazon. **Important Bird Areas in Brazil, Part II - Amazonia, Cerrado, and Pantanal** (ed. by A.C. de Lucca, P.E. Develey, G.A. Bencke, and J.M. Goerck). SAVE Brasil, São Paulo, p. 55–69, 2009. BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza – SNUC: 3. ed. aum. Brasília: MMA/SBF, 2003.52p.

BATALHA-FILHO, Henrique; IRESTEDT, Martin; FJELDSÅ, Jon; ERICSON, Per G.p.; SILVEIRA, Luis F.; MIYAKI, Cristina Y.. Molecular systematics and evolution of the *Synallaxis ruficapilla* complex (Aves: Furnariidae) in the Atlantic Forest. *Molecular Phylogenetics And Evolution*, [s.l.], v. 67, n. 1, p.86-94, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2013.01.007>.

BOOTH, T. H., NIX, H. A., BUSBY, J. R., HUTCHINSON, M. F. BIOCLIM: The first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. *Divers. Distrib.* (20): 1–9p, 2014.

BUENO, Marcelo Leandro; PENNINGTON, R. Toby; DEXTER, Kyle G.; KAMINO, Luciana H. Yoshino; PONTARA, Vanessa; NEVES, Danilo Mesquita; RATTER, James Alexander; OLIVEIRA-FILHO, Ary Teixeira de. Effects of Quaternary climatic fluctuations on the distribution of Neotropical savanna tree species. *Ecography*, [s.l.], v. 40, n. 3, p.403-414, 26 fev. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/ecog.01860>.

BUENO, Bruno Arantes de Andrade. Modelagem de nicho ecológico aplicada à conservação do pato- mergulhão (*Mergus octosetaceus*, Vieillot, 1817) no Brasil. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

CHARIF, R. A.; WAACK A. M.; STRICKMAN, L. M. Raven Pro 1.4 User's Manual. Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY. 2010.

COHN-HAFT, Mario; SANTOS JUNIOR, Marcelo Augusto dos; FERNANDES, Alexandre M.; RIBAS, Camila C. A new species of Cyanocorax jay from savannas of the central Amazon. In: [S.l.]. Handbook of the birds of the world, Special Volume:: new species and global index. *New Species and Global Index*. [s.i.]: [s.i.], 2013. p. 48-52.

COSTA, Gabriel C.; HAMPE, Arndt; LEDRU, Marie-pierre; MARTINEZ, Pablo A.; MAZZOCHINI, Guilherme G.; SHEPARD, Donald B.; WERNECK, Fernanda P.; MORITZ, Craig; CARNAVAL, Ana Carolina. Biome stability in South America over the last 30 kyr: Inferences from long-term vegetation dynamics and habitat modelling. *Global Ecology And Biogeography*, [s.l.], v. 27, n. 3, p.285-297, 18 dez. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/geb.12694>.

DALAPICOLLA, J. Tutorial de modelos de distribuição de espécie: guia teórico. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

DICKERMAN, R. W. A review of the Least Nighthawk *Chordeiles pusillus*. V. 108, n.3, p. 120-125, 1987. EDWARDS, S. V.; KINGAN, S. B.; CALKINS, J. D.; BALAKRISHNAN, C. N.; JENNINGS, W. B.; SWANSON, W. J.; SORENSON, M. D.. Speciation in birds: genes, geography, and sexual selection. : Genes, geography, and sexual selection. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, [s.l.], v. 102, n. 1, p. 6550-6557, 3 maio 2005. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0501846102>.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: Novas superfícies climáticas de resolução espacial de 1 km para áreas terrestres globais. *International Journal of Climatology*. 37(12): 4302-4315, 2017.

FERNANDES, Alexandre; COHN-HAFT, Mario; ALEIXO, Alexandre; SILVEIRA, Luís Fábio; NASCIMENTO, Nathália; OLSSON, Urban. Speciation of birds from savanna-

like vegetation in South America: the case of a pair of nighthawk *Nannochordeiles pusillus* (Aves: Caprimulgidae) in and out of the Amazon. In: INTERNATIONAL BIOGEOGRAPHY SOCIETY, 2019, Quito. [S.I.]. [quito]: [s.i.], 2019. p. 1 - 2.

GRAHAM, Catherine H.; RON, Santiago R.; SANTOS, Juan C.; SCHNEIDER, Christopher J.; MORITZ, Craig. INTEGRATING PHYLOGENETICS AND ENVIRONMENTAL NICHE MODELS TO EXPLORE SPECIATION MECHANISMS IN DENDROBATID FROGS. *Evolution*, [s.l.], v. 58, n. 8, p.1781-1793, ago. 2004. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0014-3820.2004.tb00461.x>.

HONGYU, Kuang; SANDANIELO, Vera Lúcia Martins; OLIVEIRA JUNIOR, Gilmar Jorge de. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&s Engineering And Science*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 83-90, 29 jun. 2016. Universidade Federal de Mato Grosso. <http://dx.doi.org/10.18607/es201653398>.

HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; STEEGE, H. Ter; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; SEVINK, J.; SANMARTIN, I.; SANCHEZ-MESEGUER, A.; ANDERSON, C. L.; FIGUEIREDO, J. P.. Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science*, [s.l.], v. 330, n. 6006, p.927-931, 11 nov. 2010. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1194585>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) Mapa das Áreas com Unidades de Conservação com Proteção Integral Lei nº 9.985/2000.

FERREIRA, Carlos Alberto Cid. Análise comparativa do ecossistema campina na Amazônia brasileira. 277 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Biológicas, Programa de Pós - Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Amazonas, Manaus, 2009.

LEDO, Roger Maia Dias; COLLI, Guarino Rinaldi. The historical connections between the Amazon and the Atlantic Forest revisited. *Journal Of Biogeography*, [s.l.], v. 44, n. 11, p.2551-2563, 4 jul. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jbi.13049>.

LIMA-REZENDE, Cássia Alves; ROCHA, Amanda Vaz; COUTO JÚNIOR, Antônio Felipe; MARTINS, Éder de Souza; VASCONCELOS, Vinícius; CAPARROZ, Renato. Late Pleistocene climatic changes promoted demographic expansion and population reconnection of a Neotropical savanna- adapted bird, *Neothraupis fasciata* (Aves: Thraupidae). *Plos One*, [s.l.], v. 14, n.3, p.1-19, 20 mar. 2019. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0212876>.

MATOS, Maysa Vera. Filogeografia comparada de *Tachyphonus phoenicius* (Aves; Thraupidae) e *Polytmus theresiae* (Aves; Trochilidae), duas espécies características de campinas amazônicas. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Genética, Conservação e Biologia Evolutiva, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2014.

MARINI, Miguel Ângelo; GARCIA, Frederico I.. Conservação de aves no Brasil. *Megadiversidade*, [s.i.], v. 1, n. 1, p.95-102, jul. 2005.

MENDONÇA, Elisângela Tufi. A UTILIZAÇÃO DE *Herpsilochmus longirostris* Pelzeln, 1868 (Passeriformes; Thamnophilidae) COMO MODELO DE ADAPTAÇÃO ACÚSTICA. 2009. 32 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Ecologia e Conservação de Recursos Naturais, Universidade Federal de Uberlândia, Uberl, 2009.

MORITZ, C.; AGUDO, R.. The Future of Species Under Climate Change: Resilience or Decline?. *Science*, [s.l.], v. 341, n. 6145, p.504-508, 1 ago. 2013. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1237190>.

NICHOLLS, James A.; GOLDIZEN, Anne W.. Habitat type and density influence vocal signal design in satin bowerbird. *Journal Of Animal* 75:, [S.l.], v. 75, n. -, p. 549-558, 2006.

PEREIRA, G. A.; ARAÚJO, H. F. P.; AZEVEDO-JÚNIOR, S. M.. Distribution and conservation of three important bird groups of the Atlantic Forest in northeast Brazil. *Brazilian Journal Of Biology*, [s.l.], v. 76, n. 4, p.1004-1020, 27 jun. 2016a. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.06815>.

PEREIRA, Glauco Alves. Distribuição, modelagem ecológica e conservação de aves florestais, endêmicas e/ou ameaçadas de extinção na Mata Atlântica nordestina. 2016b. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Etnobiologia e Conservação da Natureza, Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

PETERS, J. L. Check-list of birds of the world. Museum of comparative zoology Harvard university Cambridge, Massachusetts, v. 4, p. 185, 1940.

PHILLIPS, Steven J.; DUDÍK, Miroslav; SCHAPIRE, Robert E.. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. In: PROCEEDINGS OF THE TWENTY-FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 21., 2004, Banff, Canada. Proceedings [...] . Banff, Canada: [s.i.], 2004. p. 655 - 662.

PHILLIPS, Steven J.; ANDERSON, Robert P.; SCHAPIRE, Robert E.. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, [s.l.], v. 190, n. 3-4, p.231-259, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.

RAZALI, Nornadiah Mohd; WAH, Yap Bee. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal Of Statistical Modeling And Analytics*, [s. l], v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computin. 2015.

RODRIGUES, Carlos Antonio de Souza. Diferenciação de Nicho e Paleodistribuição Potencial de duas espécies de aves com distribuição disjunta em Florestas secas da América do Sul. 2017. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.

RODA, S.A., PEREIRA, G.A. and ALBANO, C., 2011. Conservação de Aves Endêmicas e Ameaçadas do Centro de Endemismo Pernambuco. Recife: Editora Universitária da UFPE. 79 p.

SALES, Raíssa Guerra. Variação vocal de espécies da família Thamnophilidae (aves) associadas a barreiras ribeirinhas na Amazônia. 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia Animal, Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

SEYFARTH, R. M.; CHENEY, D. L.; BERGMAN, T.; FISCHER, J.; ZUBERBÜHLER, K.; HAMMERSCHMIDT, K. The central importance of information in studies of animal communication. *Animal Behaviour*, 8:3– 8. 2010.

SILVA, Marcelo da. Taxonomia e biogeografia da espécie politípica *Herpsilochmus rufimarginatus* (Temminck, 1822) (Aves: *Thamnophilidae*). 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemática e Evolução, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SILVA, Marcos Vinícios Alexandre da. Modelagem de distribuição geográfica das aves endêmicas da Caatinga, status de conservação e possíveis efeitos de mudanças climático-ambientais. 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biologia Animal, Centro de Biociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, Erasmo Andrade da. MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DO COMPLEXO DE ESPÉCIES *Thamnophilus punctatus* (AVES, THAMNOPHILIDAE): UMA LINHAGEM DE FLORESTAS SECAS DOS NEOTRÓPICOS. 2018. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2018. SILVA, Sofia Marques;

PETERSON, A. Townsend; CARNEIRO, Lincoln; BURLAMAQUI, Tibério César Tortola; RIBAS, Camila C.; SOUSA-NEVES, Tiago; MIRANDA, Leonardo S.; FERNANDES, Alexandre M.; D'HORTA, Fernando M.; ARAÚJO-SILVA, Lucas Eduardo; BATISTA, Romina; BANDEIRA, Cinthia H. M.; DANTAS, Sidnei M.; FERREIRA, Mateus; MARTINS, Denise M.; OLIVEIRA, Joiciane; ROCHA, Tainá C.; SARDELLI, Carla H.; THOM, Gregory; RÊGO, Péricles Sena; SANTOS, Marcos Pérsio; SEQUEIRA, Fernando; VALLINOTO, Marcelo; ALEIXO, Alexandre. A dynamic continental moisture gradient drove Amazonian bird diversification. *Science Advances*, [s.l.], v. 5, n. 7, p.1-10, jul. 2019. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.aat5752>.

SILVA, Erasmo Andrade da; ARAUJO, Helder Farias Pereira de; ALEIXO, Alexandre; ANTONELLI, Alexandre; FERNANDES, Alexandre M.. The effects of climate change on the distribution of South American antbirds (*Thamnophilus punctatus* complex) as affected by niche divergences and contact zone interactions between species. *Journal Of Ornithology*, [s.l.], v. 161, n. 1, p.229- 241, 28 set. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10336-019-01721-3>.

SOBERÓN, Jorge M.; PETERSON, A. Townsend. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*, [s.i.], v. 2, p.1-10, 2005. WEIR, Jason T.; WHEATCROFT, David. A latitudinal gradient in rates of evolution of avian syllable diversity and song length. *Proceedings Of The Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 278, n. 1712, p. 1713-1720, 10 nov. 2010. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2010.2037>.

XENO-CANTO. Xeno-canto, compartilhando sons de aves do mundo todo.2005. Disponível em: www.xeno-canto.org

ANEXOS

ANEXO A

Variáveis ambientais utilizadas para realizar a distribuição potencial obtidas do Worldclim (<http://www.worldclim.org/>) (FICK; HIJMANS,2017).

| Variável | Descrição |
|----------|---|
| bio1 | Temperatura média anual |
| bio2 | Intervalo médio diurno {média mensal (temp. máx. -temp. min)} |
| bio3 | Isotermalidade (bio2/bio7) |
| bio4 | Sazonalidade de temperatura |
| bio5 | Temperatura máxima do mês mais quente |
| bio6 | Temperatura máxima do mês mais frio |
| bio7 | Intervalo de temperatura anual |
| bio8 | Média do trimestre mais úmido |
| bio9 | Média do trimestre mais seco |
| bio10 | Média do trimestre mais quente |
| bio11 | Média do trimestre mais frio |
| bio12 | Precipitação anual |
| bio13 | Precipitação do mês mais frio |
| bio14 | Precipitação do mês mais seco |
| bio15 | Sazonalidade de precipitação |
| bio16 | Precipitação do quadrimestre mais úmido |
| bio17 | Precipitação do quadrimestre mais seco |
| bio18 | Precipitação do quadrimestre mais quente |
| bio19 | Precipitação do quadrimestre mais frio |

ANEXO B

Variáveis ambientais menos correlacionadas para utilizadas para realizar a distribuição potencial obtidas do Worldclim (<http://www.worldclim.org/>) (FICK; HIJMANS, 2017).

| |
|--|
| Temperatura média anual (bio1) |
| Intervalo médio diurno {média mensal (temp. máx. – temp. min)}(bio2) |
| Isotermalidade (bio2/bio7) (bio3) |
| Intervalo de temperatura anual (bio7) |
| Precipitação anual (bio12) |
| Precipitação do mês mais seco (bio14) |
| Sazonalidade de precipitação (bio15) |
| Precipitação do quadrimestre mais quente (bio18) |
| Precipitação do quadrimestre mais frio (bio19) |

