



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARIA RUTH DE OLIVEIRA RIBEIRO

DISTRIBUIÇÃO BIOGEOGRÁFICA E MODELAGEM DE NICHOS POTENCIAL DA
AVE AMEAÇADA *Odontophorus capueira plumbeicollis* CORY, 1915:
COMPREENDENDO SEU PRESENTE E PASSADO PARA CONSERVAR SEU
FUTURO

FORTALEZA

2022

MARIA RUTH DE OLIVEIRA RIBEIRO

DISTRIBUIÇÃO BIOGEOGRÁFICA E MODELAGEM DE NICHOS POTENCIAL DA AVE
AMEAÇADA *Odontophorus capueira plumbeicollis* CORY, 1915: COMPREENDENDO
SEU PRESENTE E PASSADO PARA CONSERVAR SEU FUTURO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação
em Ciências Ambientais do Instituto de
Ciências do Mar, Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R1d Ribeiro, Maria Ruth de Oliveira.

DISTRIBUIÇÃO BIOGEOGRÁFICA E MODELAGEM DE NICHOS POTENCIAL DA AVE AMEAÇADA
Odontophorus capueira plumbeicollis CORY, 1915: COMPREENDENDO SEU PRESENTE E PASSADO
PARA CONSERVAR SEU FUTURO / Maria Ruth de Oliveira Ribeiro – 2022.

59 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,
Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Freire Moro.

1. Endemismo. 2. Mudança Climática. 3. Conservação. I. Título.

CDD 333.7

MARIA RUTH DE OLIVEIRA RIBEIRO

DISTRIBUIÇÃO BIOGEOGRÁFICA E MODELAGEM DE NICHOS POTENCIAL DA
SUBESPÉCIE *Odontophorus capueira plumbeicollis* CORY, 1915: COMPREENDENDO
SEU PRESENTE E PASSADO PARA CONSERVAR SEU FUTURO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação
em Ciências Ambientais do Instituto de
Ciências do Mar, Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Ciências Ambientais

Aprovada em: 25/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Freire Moro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Weber Andrade Girão e Silva
Associação de Pesquisa e Conservação de Ecossistemas Aquáticos (Aquasis)

Doutorando Paulo Weslem Portal Gomes
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Talvanes e Maria das Graças. Em especial a minha mãe, que sempre me inspirou a ser uma mulher independente e acreditou no meu potencial como cientista. Obrigada por me encorajarem nos momentos mais difíceis ao longo da graduação e acreditarem no poder da educação como ferramenta para se alcançar os objetivos.

Às minhas irmãs Raquel e Sara Oliveira, a qual tenho satisfação em compartilhar a mesma paixão por aves e tiveram suma importância nesse processo de aprender e se encantar um pouco mais com a área da ornitologia.

Ao meu irmão Elias Ribeiro, pelos conselhos, diálogos, e mais ainda por ser um verdadeiro ouvinte que sempre procurou me escutar de forma atenciosa e com carinho.

À minha querida tia Giselda, pelo suporte e carinho que sempre foram fundamentais nesse processo.

Ao meu tio Paulo, pelo incentivo e apoio que me deu desde o início da graduação, quando me presenteou com a primeira calculadora científica que viria a ter. Obrigada por acreditar e fomentar minha formação como Cientista Ambiental.

Ao meu orientador Prof. Dr Marcelo Freire Moro, por me abrir diversas oportunidades dentro da universidade, por possibilitar e auxiliar essa pesquisa e por todo conhecimento compartilhado, o tenho como inspiração no meio acadêmico.

À banca examinadora: MSc. Weber Andrade Girão e Silva e Doutorando Paulo Weslem Portal Gomes pela disponibilidade em me auxiliar com os dados, por aceitarem participar da minha banca e pelas valiosas contribuições feitas ao meu trabalho.

Aos ornitólogos e pesquisadores Fábio Nunes e Weber Girão, pelo fornecimento de dados de ocorrência do uru-do-nordeste, como também pelas importantes sugestões.

Às minhas grandes amigas Giulia Filgueiras e Aídee Araújo, por tornarem esse período da graduação mais leve e proveitoso, é um privilégio tê-las comigo compartilhando as melhores vivências que a universidade pode proporcionar. Obrigada pelo apoio e pela força, principalmente nessa reta final.

Às minhas amigas de laboratório Taynara e Lígia, pela disponibilidade e colaboração nos conhecimentos sobre SIG e modelagem.

À Universidade Federal do Ceará, por proporcionar uma formação repleta de conhecimentos e experiências engrandecedoras.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente.

“A maneira de dar canto às palavras o menino aprendeu com os passarinhos.” (Manoel de Barros).

RESUMO

A avifauna brasileira encontra-se consideravelmente ameaçada, tendo em vista que 236 aves estão classificadas em alguma categoria de ameaça de extinção. Destruição de habitat e caça estão reconhecidamente entre as ameaças mais relevantes historicamente, mas as mudanças climáticas globais impõem novas ameaças às espécies. Se o clima continuar aquecendo, é possível que regiões de florestas úmidas se transformem em florestas secas ou em savanas e que áreas semiáridas se tornem áridas em decorrência das mudanças climáticas. Este trabalho objetivou mapear a distribuição histórica e as ocorrências atuais da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis* Cory, 1915, uma subespécie endêmica da família Odontophoridae que ocorre nas florestas úmidas da região tropical norte do Nordeste do Brasil. O mapeamento visa revelar os pontos de ocorrência atuais confirmadas para a espécie, bem como locais onde a espécie tem registros passados confiáveis, mas foi localmente extinta. Também visa modelar o nicho ecológico potencial e identificar áreas prioritárias para conservação. A modelagem foi realizada para o cenário atual, para um cenário paleoclimático do Último Máximo Glacial, quando o clima da região era mais úmido, e para quatro projeções futuras para cenários de mudança climática. Como resultado do mapeamento de distribuição histórica e atual, confirmou-se que a ave ocorre exclusivamente nas regiões de matas úmidas do Nordeste, sendo restrita ao norte da Mata Atlântica e em brejos de altitude na Caatinga. Para modelagem do período atual, notou-se uma congruência entre as áreas com nicho adequado e a distribuição conhecida da subespécie, além de extensões de altíssima adequabilidade na porção sul da Mata Atlântica e ao sul do Pampa, onde ocorre outra subespécie. O cenário paleoclimático do Último Máximo Glacial evidenciou que há cerca de 21 mil anos no passado, as áreas adequadas para a espécie se expandiram significativamente, sugerindo a ocorrência de um corredor de áreas adequadas conectando a Mata Atlântica e a Amazônia através do que é hoje a Caatinga. Isso explica a atual distribuição disjunta entre a Mata Atlântica ao norte do rio São Francisco e os brejos de altitude atualmente isolados em meio à Caatinga. Já os cenários de mudança climática mostram redução drástica na adequabilidade das áreas que possuem ocorrência conhecida de *Odontophorus capueira plumbeicollis*. No cenário SSP585 (2081-2100), o mais pessimista, as áreas com adequabilidade de nicho para o uru-do-nordeste desaparecem no domínio fitogeográfico da caatinga e ao norte da Mata Atlântica. A identificação de áreas prioritárias para conservação mostrou que até o cenário SSP245 (2081-2100), a única região que se manteve apresentando áreas com altíssima adequabilidade na área de distribuição conhecida foi o Maciço de Baturité, no estado do Ceará, uma área com ocorrência recente confirmada para a espécie. Dessa forma,

destaca-se a relevância da utilização de instrumentos de modelagem de nicho para auxiliar em políticas conservacionistas para a diversidade biológica.

Palavras-chave: endemismo; mudança climática; conservação.

.

ABSTRACT

Brazilian bird diversity is under considerable threat, with 236 birds classified in some category of threat of extinction. Habitat destruction and hunting have been among the most relevant threats historically, but global climate change poses new threats to the species. If the climate continues to warm, it is possible that humid forest regions will turn into dry forests or savannas and that semi-arid areas will become arid as a result of climate change. This work aimed to map the historical distribution and current occurrences of the bird *Odontophorus capueira plumbeicollis* Cory, 1915, an endemic subspecies of the family Odontophoridae that occurs in the humid forests of the northern tropical region of Northeastern Brazil. The mapping aims to reveal current confirmed occurrence points for the species, as well as sites where the species has reliable past records but has become locally extinct. It also aims to model the potential ecological niche and identify priority areas for conservation. Modeling was performed for the current scenario, for a paleoclimate scenario of the Last Glacial Maximum, when the region's climate was wetter, and for four future projections for climate change scenarios. As a result of the historical and current distribution mapping, it was confirmed that the bird occurs exclusively in the humid forest regions of the Northeast, and is restricted to the northern Atlantic Forest and high altitude wetlands in the Caatinga. For modeling of the current period, we noted a congruence between the areas with suitable niche and the known distribution of the subspecies, and extensions of very high suitability in the southern portion of the Atlantic Forest and south of the Pampa, where another subspecies occurs. The paleoclimatic scenario of the Last Glacial Maximum showed that about 21,000 years in the past, the areas suitable for the species expanded significantly, suggesting the occurrence of a corridor of suitable areas connecting the Atlantic Forest and the Amazon through what is now the Caatinga. This explains the current disjunct distribution between the Atlantic Forest north of the São Francisco River and the currently isolated high altitude wetlands in the Caatinga. The climate change scenarios show a drastic reduction in the suitability of the areas where *Odontophorus capueira plumbeicollis* is known to occur. In the SSP585 scenario (2081-2100), the most pessimistic one, the areas with niche suitability for the northeastern Brazilian howler disappeared in the phytogeographic domain of Caatinga and to the north of the Atlantic Forest. The identification of priority areas for conservation showed that until the SSP245 scenario (2081-2100), the only region that remained showing areas with very high niche suitability in the known range was the Maciço de Baturité, in the state of Ceará, an area with confirmed recent occurrence for the species. Thus,

the relevance of using niche modeling tools to assist in conservation policies for biological diversity is highlighted.

Keywords: endemism; climate change; conservation.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 | – Uru-do-nordeste (<i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i>) registrado no município de Guaramiranga, na Serra de Baturité, Ceará, um dos brejos de altitude (encrave de floresta úmida em meio à Caatinga) mais conhecidos do Ceará | 23 |
| Figura 2 | – Uru-do-nordeste (<i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i>) registrado no município de Guaramiranga, na Serra de Baturité, Ceará, um dos brejos de altitude (encrave de floresta úmida em meio à Caatinga) mais conhecidos do Ceará | 23 |
| Figura 3 | – Mapa de distribuição histórica (registros dos séculos 19, 20 e 21) e atual do uru-do-nordeste (<i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i>) | 30 |
| Figura 4 | – Mapa de ocorrência do uru-do-nordeste (<i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i>) no Maciço de Baturité, Ceará | 33 |
| Figura 5 | – Mapa de distribuição geográfica e potencial de <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> para o atual cenário | 36 |
| Figura 6 | – Mapa de nicho potencial da subespécie <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> para o cenário paleoclimático do Último Máximo Glacial | 38 |
| Figura 7 | – Mapa de nicho potencial da subespécie <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> para o cenário de mudança climática SSP245 (2041-2060) | 40 |
| Figura 8 | – Mapa de nicho potencial da subespécie <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> para o cenário de mudança climática SSP585 (2041-2060) | 42 |
| Figura 9 | – Mapa de nicho potencial da subespécie <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> para o cenário de mudança climática SSP245 (2081-2100) | 44 |
| Figura 10 | – Mapa de nicho potencial da subespécie <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> para o cenário de mudança climática SSP585 (2081-2100) | 46 |

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Categorização dos pontos de ocorrência históricos e atuais da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*.

31

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | – Variáveis bioclimáticas obtidas na base de dados WorldClim e PaleoClim (2.5 minutos de resolução espacial, ~ 5km ²) | 27 |
| Tabela 2 | – Área de adequabilidade climática (em Km ²) para o atual cenário, Último Máximo Glacial e cenários SSP245 e SSP585 de mudança climática, da subespécie <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> . Também mostramos a diferença, em porcentagem, entre o modelo de adequabilidade às condições presentes (usado como referência – valor de 100%) e às condições paleoclimáticas do Último Máximo Glacial e cenários de aquecimento global | 35 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------|-------------------------------------------------|
| AUC | Área Sob a Curva |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPCC | Painel Internacional de Mudanças Climáticas |
| MNE | Modelagem de Nicho Ecológico |
| PCA | Principal Component Analysis |
| TSS | True Skill Statistic |
| UC | Unidade de Conservação |
| UMG | Último Máximo Glacial |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 | Objetivo Geral | 17 |
| 2.2 | Objetivos Específicos | 17 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 3.1 | Último Máximo Glacial | 18 |
| 3.2 | Mata Atlântica | 19 |
| 3.2.1 | <i>Brejos de altitude</i> | 20 |
| 3.3 | Modelagem de nicho ecológico | 21 |
| 4 | METODOLOGIA | 23 |
| 4.1 | <i>Odontophorus capueira plumbeicollis</i> Cory, 1915 | 23 |
| 4.2 | Registros de Ocorrência | 24 |
| 4.3 | Variáveis Ambientais | 24 |
| 4.4 | Modelagem de nicho ecológico | 27 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 5.1 | Distribuição histórica e atual | 29 |
| 5.2 | Avaliação de nicho potencial e áreas prioritárias para conservação | 34 |
| 5.2.1 | <i>Modelagem para o clima atual da ave Odontophorus capueira plumbeicollis</i> | 35 |
| 5.2.2 | <i>Modelagem para o Último Máximo Glacial da ave Odontophorus capueira plumbeicollis</i> | 37 |
| 5.2.3 | <i>Modelagem para o cenário de mudança climática SSP245 (2041-2060) da ave Odontophorus capueira plumbeicollis</i> | 39 |
| 5.2.4 | <i>Modelagem para o cenário de mudança climática SSP585 (2041-2060) da ave Odontophorus capueira plumbeicollis</i> | 41 |
| 5.2.5 | <i>Modelagem para o cenário de mudança climática SSP245 (2081-2100) da ave Odontophorus capueira plumbeicollis</i> | 43 |
| 5.2.6 | <i>Modelagem para o cenário de mudança climática SSP585 (2081-2100) da ave Odontophorus capueira plumbeicollis</i> | 45 |
| 6 | CONCLUSÃO | 49 |
| | REFERÊNCIAS..... | 50 |

| | |
|----------------------|----|
| ANEXO A | 58 |
| ANEXO B | 59 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das maiores riquezas de aves do planeta, sendo este grupo biológico o segundo maior dentre os vertebrados no país, somando 1.979 táxons (ICMBIO, 2018). No entanto, apesar de tamanha diversidade, a avifauna brasileira encontra-se significativamente ameaçada, tendo em vista que 236 aves estão classificadas em alguma categoria ameaçada de extinção (ICMBIO, 2018). Apesar de processos de extinção terem ocorrido ao longo de toda a história natural do planeta, é sabido que as intervenções humanas são responsáveis por acelerar em centenas de vezes as taxas naturais de extinção, acelerando consideravelmente o desaparecimento das espécies e gerando perdas irreparáveis aos ecossistemas (BUENO, 2012). Outrossim, fundamenta o desequilíbrio ecológico nos ecossistemas globais.

Dentre os vários impactos antrópicos sobre o planeta, a defaunação é um dos fenômenos que gera impactos generalizados sobre a biodiversidade. Esse processo consiste na redução acelerada das espécies que compõem a fauna silvestre em um ambiente natural. Tal declínio faunístico também reflete no pleno funcionamento dos ecossistemas e do bem-estar humano (DIRZO *et al.*, 2014). Ainda de acordo com Dirzo *et al.* (2014), os impactos nas funções e serviços do ecossistema se estendem a suscetibilizar as culturas alimentares globais, uma vez que afeta os polinizadores (aos quais as aves se incluem), bem como o controle de pragas devido o declínio de pequenos vertebrados. Com isso, tais impactos têm sido associados à diminuição na abundância relativa de espécies de plantas dependentes dos polinizadores (DIRZO *et al.*, 2014).

Assim, a defaunação pode acionar ou modificar cascatas tróficas, que ocorrem quando consumidores de topo de cadeia que suprimem a abundância ou alteram o comportamento das presas, deixam de cumprir seu papel. Sem esse controle dos predadores de topo, o ecossistema é afetado, modificando as populações dos predadores intermediários, herbívoros e dos produtores primários, alterando todos os níveis tróficos (GALETTI, 2015). Além disso, vários processos como polinização e dispersão de propágulos são mediados pela fauna. No contexto da Mata Atlântica, mais de 80% de plantas lenhosas são dispersas por vertebrados, no entanto, com a extinção de predadores de topo, cerca de 88% de sua área se encontra afetada por cascatas tróficas (GALETTI, 2015), ameaçando, desta forma, o equilíbrio ecossistêmico e suscetibilizando extinções que podem se estender à composição florística.

A Mata Atlântica é o domínio fitogeográfico que possui o maior número de aves ameaçadas, com 891 no total, das quais 120 são ameaçadas de extinção (LIMA, 2013; ICMBIO,

2018). Ademais, a Mata Atlântica também é reconhecida pelas elevadas taxas de endemismos (FARIA *et al.*, 2006), sendo mapeada como um dos 25 *hotspots* globais de biodiversidade (MYERS *et al.* 2000). Isso porque, além de abrigar expressiva diversidade endêmica, esse domínio fitogeográfico já perdeu cerca de 90% da sua área original (RIBEIRO *et al.*, 2009; MYERS *et al.*, 2000). Nesse sentido, esse domínio se torna prioritário para conservação por abrigar elevado número de espécies e por ser constituído por diversos ecossistemas.

O uru-do-nordeste (*Odontophorus capueira plumbeicollis*) é uma subespécie de ave endêmica do Brasil, que se distribui ao longo da floresta atlântica de baixada dentro do Domínio da Mata Atlântica e nos encaves de matas úmidas em meio ao Domínio da Caatinga. Embora a espécie ocorra na Mata Atlântica até o Sudeste e Sul do Brasil, a subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis* é um táxon restrito ao Nordeste do país. Atualmente possui apenas registros nos estados do Ceará, Paraíba, Alagoas e Pernambuco e está classificado como Criticamente em Perigo de extinção segundo o “Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção” (ICMBIO, 2018).

A distribuição atual da subespécie é disjunta, com parte da população ocorrendo nas áreas originalmente contínuas de Mata Atlântica, de Alagoas até a Paraíba e, de forma disjunta, nos encaves de matas úmidas (os chamados ‘brejos de altitude’) do Ceará. A ocorrência disjunta em encaves de matas úmidas em meio ao Domínio da Caatinga é, presumivelmente, resultado das flutuações climáticas do Pleistoceno. Durante períodos mais úmidos, Mata Atlântica e Amazônia teriam se expandido para áreas atualmente ocupadas pela Caatinga. Já quando o clima ficou mais seco, a Caatinga se expandiu, deixando, nas áreas mais elevadas (serras úmidas), diversas espécies de florestas úmidas isoladas nos brejos de altitude, cercadas por vegetação decídua de caatinga nas terras baixas ao redor (LEDO; COLLI, 2017; COSTA *et al.*, 2018; MORO *et al.*, 2015).

Atualmente o uru-do-nordeste está restrito a fragmentos de vegetação de florestas úmidas da Mata Atlântica e aos brejos de altitude do Ceará, e uma de suas populações remanescentes se concentra em um enclave de mata úmida em meio à Caatinga na Serra de Baturité, no Ceará (ICMBIO, 2008). Por conseguinte, esse táxon que ocorre em áreas florestais remanescentes é pressionado por ações antrópicas que resultam na redução do seu habitat, como também pela atividade de caça.

Outrossim, por ser uma ave galiforme, é bastante sensível às alterações antrópicas no ambiente (ICMBIO, 2008). Como grande parte da área original está em regiões desmatadas e fragmentadas, a espécie sofre diversas pressões de conservação. Vale destacar que cerca de 72% da população brasileira está inserida dentro do domínio Mata Atlântica (FUNDAÇÃO SOS

MATA ATLÂNTICA, 2014), ampliando as pressões de conservação, e exigindo a elaboração imprescindível de políticas que recuperem e reconectem os remanescentes existentes.

Para além de todas as pressões, têm-se que levar em conta as alterações climáticas globais que podem reduzir drasticamente as áreas de nicho adequados à ocorrência da espécie. Com as mudanças climáticas globais, novas ameaças se impõem às espécies e é possível que as regiões de florestas úmidas se transformem em florestas secas ou em savanas em decorrência das mudanças climáticas. Em vista disso, táxons como o *Odontophorus capueira plumbeicollis*, que necessitam de florestas úmidas bem conservadas, deparam-se com ameaças iminentes que propiciam seu desaparecimento precoce.

Para avaliar essa questão, pode-se aplicar os Modelos de Nicho de Ecológico (MNE) que relacionam variáveis ambientais juntamente aos pontos de ocorrência de uma espécie-foco, a fim de que seja possível determinar as áreas mais adequadas para a distribuição da espécie (DALAPICOLLA, 2016). Ademais, a Modelagem de Nicho Ecológico (MNE) é uma técnica que tem possibilitado estimar, entender e analisar os efeitos das mudanças climáticas sobre as espécies do planeta (COUTINHO, 2019).

Esse estudo buscou documentar a distribuição geográfica histórica (com dados dos séculos 19 e 20) e a atual para essa subespécie ameaçada, registrando onde ela ocorria segundo coletas e registros confiáveis dos séculos 19, 20 e 21, e onde ela tem registros confirmados atualmente. Também visamos compreender quais áreas do Nordeste têm nicho climático adequado à sobrevivência dessa espécie e entender se vai haver redução desse nicho em diferentes cenários de mudanças climáticas.

Deste modo, este estudo empregou a MNE a fim de avaliar o efeito das alterações na extensão do nicho adequado à espécie durante as flutuações climáticas do Pleistoceno em um período do passado do táxon, sendo este o Último Máximo Glacial (UMG - entre 26 a 18 mil anos atrás); para o clima atual, e em dois cenários futuros, SSPs 45 e 85. Por conseguinte, buscou-se identificar as delimitações para ocorrência da ave no passado, presente e futuro, e assim, entender melhor sua ecologia e respectiva dinâmica. Além disso, os resultados deste trabalho destinam-se a nortear elaborações de políticas conservacionistas, como também influenciar com dados científicos as tomadas de decisões.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Mapear a distribuição biogeográfica histórica e a atual da ave uru-do-nordeste (*Odontophorus capueira* subsp. *plumbeicollis*) e prever áreas com nicho adequado para ocorrência dessa subespécie considerando o clima atual e cenários paleoclimáticos e de mudanças climáticas.

2.2 Objetivos Específicos

- Mapear a distribuição histórica e atual conhecida da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis* de acordo com registros compilados e verificados por especialistas.
- Realizar a modelagem de nicho ecológico do *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o clima atual, a fim de identificar locais onde a espécie potencialmente pode existir ou poderia ser reintroduzida.
- Realizar a modelagem de nicho ecológico do *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o cenário paleoclimático do Último Máximo Glacial.
- Realizar a modelagem de nicho ecológico de *Odontophorus capueira plumbeicollis* para dois cenários futuros de mudança climática, sob o cenário mais otimista (SSP245) e pessimista (SSP585).
- Identificar áreas prioritárias para conservação da subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Último Máximo Glacial

O clima na Terra é caracterizado por possuir flutuações bem demarcadas ao longo dos últimos 400 mil anos (CABALLERO *et al.*, 2010). Ademais, essas flutuações ocorrem em ciclos com intervalos de 100 mil anos onde o clima pode variar para mais frio, com cerca de 8°C a menos, sendo períodos com clima muito mais frio que o atual designados de Glaciais, e estágios nos quais podem chegar a 2°C ou 3°C mais quente que o clima atual, intervalos esses chamados de Interglaciais (CABALLERO *et al.*, 2010). De acordo com Ab'Saber (1957), o Nordeste brasileiro possui casos relevantes de flutuações climáticas ao longo do quaternário, nos quais é possível constatar através de fatos morfológicos que ainda estão bem preservados. Assim, pondera-se que houve períodos mais úmidos, bem como, ciclos mais secos.

Tendo havido ali, variações climáticas até certo ponto excepcionais para o caso brasileiro, ora no sentido de uma umidade mais pronunciada, ora no sentido de uma certa aridez, o relevo, a hidrografia e a flora regionais, refletem diretamente as interferências de sistemas de erosão que se processaram (AB'SABER, 1957, p. 45)

Essas flutuações foram bem documentadas em uma caverna na Bahia, onde através da deposição do calcário foi possível inferir que períodos úmidos certamente afetaram a distribuição da floresta tropical, uma vez que, fósseis de plantas mostraram que a expansão da floresta ocorreu durante os intervalos úmidos intermitentes e provavelmente abriu um corredor florestal entre as florestas amazônica e atlântica (WANG *et al.*, 2004).

À vista disso, o Último Máximo Glacial (UMG) foi o período mais recente onde uma glaciação atingiu o planeta, em um intervalo de tempo entre 26 a 18 mil anos antes do presente, no qual as grandes geleiras atingiram os níveis máximos (MIX *et al.*, 2001). Conseqüentemente, nesse intervalo, o nível do mar se reduziu significativamente (CLARK *et al.*, 2009).

Para Mix (2001), é importante compreender as mudanças climáticas da última era glacial, porque esse período resguarda informações relevantes conservadas nos registros geológicos da última alteração climática ocorrida de forma natural, e compreendê-las permite entender padrões biogeográficos atuais (LEDO *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2018). Assim, é fundamental assimilar como os ecossistemas e espécies reagiram a estas alterações, para que seja possível analisar de forma mais assertiva as mudanças climáticas futuras e seus prováveis impactos no ambiente.

De acordo com Clark (2009), é especialmente pertinente estudar o UMG, pois como

foi um período em que o clima era consideravelmente distinto do atual, pode-se usá-lo para testar a sensibilidade de modelos climáticos frente às alterações. Logo, infere-se a importância de se trabalhar este período paleoclimático no presente estudo.

Ademais, o UMG possui potencial para elucidar possíveis conexões existentes em diferentes biomas no passado, uma vez que áreas ocupadas pelas florestas úmidas, savanas e florestas secas se alteraram com as flutuações climáticas, ocupando distribuição diferente daquela observada atualmente, em consequência dos períodos de expansão e retração de cada bioma nos ciclos glaciais e interglaciais (JOLY, 2007; COSTA *et al.*, 2018). Por conseguinte, o paleoclima deste período pode explicitar como existem populações disjuntas do *Odontophorus capueira plumbeicollis* entre a Mata Atlântica e os brejos de altitude isolados em meio à Caatinga.

3.2 Mata Atlântica

A Mata Atlântica de acordo com Tabarelli (2005) é a segunda maior floresta pluvial tropical do continente americano, que originalmente estendia-se de forma contínua ao longo da costa brasileira. Ademais, sua degradação ocorreu de maneira agressiva desde os primeiros ciclos econômicos no Brasil (DASILVA, PINTO-DA-ROCHA, SOUZA, 2015). Assim, a floresta que antes ocupava mais de 1,5 milhões de km², com 92% da sua área total no Brasil, além de trechos menores no Paraguai e Argentina (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE, 2001; GALINDOLEAL & CÂMARA, 2003). Atualmente, a Mata Atlântica perdeu a maior parte da sua cobertura vegetal original, mais de 90% da sua área original (MYERS *et al.*, 2000; RIBEIRO *et al.*, 2009).

Outrossim, de acordo com Manual Técnico de Vegetação Brasileira (IBGE, 1992), a Mata Atlântica é caracterizada como um conjunto de diferentes fitofisionomias que se localizam ao longo da região costeira leste do Brasil, do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul, além de áreas interiores em São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul (IBGE, 2019).

Contudo, duas fitofisionomias são mais predominantes nesse domínio: a Mata Atlântica Ombrófila ou Chuvosa, que se estende da planície litorânea do Sul e Sudeste até o Nordeste brasileiro, e a Mata Atlântica Semi-decidual, que ocorre no planalto continental (MORELLATO & HADDAD, 2000). A Mata Atlântica Chuvosa possui um clima predominantemente quente e úmido, sem estação seca, enquanto na Mata Atlântica Semi-decidual o clima é sazonal com ocorrência de estação seca (MORELLATO *et al.* 2000; MORELLATO; HADDAD, 2000; OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000). À vista disso, as

mudanças climáticas possuem significativo potencial para impactar negativamente a dinâmica dos fatores bióticos e abióticos neste domínio, tendo em vista a biodiversidade singular e característica que esse domínio dispõe.

O histórico de constantes degradações por interferências antrópicas acelerou e favoreceu o processo de destruição e fragmentação da Mata Atlântica. Desse modo, esse domínio fitogeográfico se tornou uma das áreas de maior prioridade para a conservação biológica em todo o mundo, sendo um dos 25 *hotspots* globais de biodiversidade (MYERS *et al.*, 2000, DÁRIO & ALMEIDA, 2000). É importante ressaltar que existem várias fitofisionomias associadas ao domínio da Mata Atlântica, podendo-se citar as restingas herbáceas e arbustivas, mangues e brejos, além das florestas ombrófilas, semidecíduas e mesmo decíduas (PÔRTO *et al.*, 2004).

Além das áreas contínuas de Mata Atlântica, há encaves de florestas úmidas em meio ao Domínio da Caatinga, com vínculos biogeográficos com a Mata Atlântica (PÔRTO *et al.* 2004; MORO *et al.* 2016). Essas áreas foram denominadas de ‘Brejos de Altitude’, por serem muito mais úmidas que a caatinga do entorno e terem em sua flora e fauna exemplares da biota da Mata Atlântica e, no caso dos brejos de altitude do Ceará, também da Amazônia (MORO *et al.* 2015).

3.2.1 Brejos de altitude

Os Brejos de Altitude (BA) são definidos como encaves de florestas úmidas situados na caatinga nos quais formam ilhas verdes em meio a região semiárida, isto por que possuem clima mais úmido originado pelas chuvas orográficas, bem como por fatores vegetacionais e de temperatura (PÔRTO *et al.*, 2004; MORO *et al.* 2016). Além disso, os BA contêm biodiversidade características da Amazônia e Mata Atlântica, podendo ser um indicativo de que em algum momento do passado estas florestas úmidas já possuíram conexões (PÔRTO *et al.*, 2004; MORO *et al.* 2016).

De acordo com Andrade-Lima (1982), a origem dos brejos de altitude estaria atrelada às variações climáticas ocorridas durante o Pleistoceno (últimos 2 milhões - 10.000 anos), onde foi possível à floresta atlântica penetrar em áreas hoje ocupadas pelo Domínio da Caatinga. Outrossim, quando a floresta úmida recuava, durante intervalos de tempo mais secos, ilhas de floresta Atlântica permaneceram em locais de mesoclima propício, ou seja, os BA, mantidos por chuvas orográficas associadas às serras mais úmidas. Além disso, essas formações são consideradas por Andrade-Lima (1982) um refúgio para espécies remanescentes que

encontraram ambientes propícios para sua respectiva ocorrência.

Uma problemática pertinente de se destacar, é que por possuir condições climáticas favoráveis para plantação de algumas culturas, os BA tem sido alvo de pecuaristas e agricultores, que, através da criação de gado e do desenvolvimento de lavouras permanentes, como as de banana e café, constituem a base da estrutura socioeconômica desse setor da floresta Atlântica (PÔRTO *et al.*, 2004). Conseqüentemente, a ocupação acelerada da floresta atlântica nordestina põe em risco a rica biodiversidade que esses ambientes resguardam, incluindo o *Odontophorus capueira plumbeicollis*.

3.3 Modelagem de nicho ecológico

A Modelagem de Nicho Ecológico (MNE) possibilita a melhor compreensão da ecologia distributiva das espécies. Ela tem sido mais amplamente aplicada devido aos desenvolvimentos tecnológicos e utilizações de ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) juntamente aos avanços dos conhecimentos climáticos (PETERSON; SOBERÓN, 2012, COUTINHO, 2019). Essa metodologia interliga as informações acerca dos registros de ocorrência de uma espécie ou população às variáveis majoritariamente climáticas, por conseguinte, realizam-se projeções para demais áreas no intuito de identificar regiões adequadas para ocorrência da espécie (RICKLEFS, 2003; TÔRRES; VERCILLO, 2012).

A partir disso, a MNE tem se mostrado uma ferramenta fundamental na elaboração de planos para conservação (BUENO, 2012), bem como na colaboração de conhecimentos no que se refere a biogeografia, ecologia e evolução (GUISAN, THUILLER, 2005). Outrossim, os produtos resultantes da modelagem como mapas de adequabilidade ambiental possibilitam analisar a distribuição geográfica potencial e conseqüentemente nortear as tomadas de decisões no que tange às políticas conservacionistas (ANDERSON *et al.*, 2003).

Para Guisan e Zimmermann (2000) o processo de modelagem se dá através de alguns fatores, uma vez que os passos para se obter resultados plausíveis utilizando essa metodologia se dá através de: i) Definição da pergunta – pois é a partir desse passo que pode-se admitir que essa metodologia se aplica ao estudo em questão (BUENO, 2012); ii) Preparação dos dados – consiste na coleta de dados, ou seja os registros de ocorrência, como também diz respeito às variáveis ambientais que serão utilizadas (BUENO, 2012); iii) Geração dos modelos - essa etapa é realizada através do emprego dos softwares disponíveis que utilizam equações matemáticas para correlacionar as variáveis com os pontos de ocorrência; iv) Avaliação do modelos gerados - é feita uma análise estatística para verificar o sucesso das projeções, é interessante destacar

que isso depende da quantidade de dados acerca da espécie disponíveis, quanto mais informações, maiores são as chances do modelo obter sucesso (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000); v) Projeção dos modelos no espaço geográfico - se refere aos mapas originados da modelagem aos quais indicam a adequabilidade ambiental no globo para a espécie trabalhada, a partir de semelhanças com a área originalmente ocupada pela mesma (SILLERO, 2011).

Assim, a MNE foi utilizada no presente estudo a fim de compreender melhor a distribuição biogeográfica potencial do uru-do-Nordeste (*Odontophorus capueira plumbeicollis*) ponderada com base nas variáveis climáticas gerando como produtos projeções do passado, assim como para o futuro. Além disso, é uma importante ferramenta para auxiliar nas medidas conservacionistas em prol desta subespécie que possui o conhecimento ainda escasso.

4 METODOLOGIA

4.1 *Odontophorus capueira plumbeicollis* Cory, 1915

Odontophoridae é uma família com aves de pequeno porte que possuem asas curtas, arredondadas e robustas, possibilitando a ave apenas voos curtos (ICMBIO, 2007). São animais onívoros, se alimentando de pequenos invertebrados e que afastam o folhiço do solo, ciscando, para buscar sementes e bagas caídas (RODA, 2008). Possuem plumagem muito discreta em tons de marrom e cinza, tornando a visibilidade desses indivíduos mais difícil. Para reproduzir nidificam os solos com folhas secas formando tocas sólidas, onde a ave choca cinco ovos ou mais, geralmente nos primeiros meses do ano, no período seco (RODA, 2008).

Odontophorus capueira subsp. *pumbeicollis* (uru-do-nordeste) é uma subespécie da família Odontophoridae que ocorre na região tropical norte do Nordeste do Brasil, possui 24 cm de comprimento, bico curto, com cores intercalando entre vermelho na região oftálmica, plumagem ventral na cor castanha e marrom no corpo todo, como relatado pelo ICMBIO (2007). Essa subespécie possui pontos de ocorrência nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, distribuindo-se entre os Domínios Fitogeográficos da Caatinga e da Mata Atlântica, embora sempre associado às florestas mais úmidas, como a floresta ombrófila densa e ombrófila aberta, e floresta estacional semidecídua, e não na vegetação decídua da caatinga ou estacional do cerrado.

Figura 1 e 2: Uru-do-nordeste (*Odontophorus capueira plumbeicollis*) registrado no município de Guaramiranga, na Serra de Baturité, Ceará, um dos brejos de altitude (encrave de floresta úmida em meio à Caatinga) mais conhecidos do Ceará.



Fonte: Ciro Albano (2010).

O uru-do-nordeste (Figura 1 e 2) é uma subespécie que se encontra criticamente ameaçada de extinção devido às interferências humanas em seu habitat, uma vez que os

remanescentes de Mata Atlântica e BA, onde a subespécie ocorre, sofrem com especulações imobiliárias e desmatamento por atividades econômicas como agricultura. A caça anteriormente foi uma ameaça significativa (ALBANO; GIRÃO, 2008), podendo inclusive ter extinguido subpopulações das quais se tinham registros na Serra da Aratanha e de Maranguape no Ceará (ICMBIO, 2018). No entanto, suas populações foram tão reduzidas, que atualmente conjectura-se que possivelmente não é uma espécie alvo de caçadores nas regiões onde ainda ocorre.

Outrossim, além das ameaças vigentes, o táxon tem potencial para sofrer com doenças transmitidas por aves domésticas, tendo em vista que a antropização facilita o contato de animais domésticos com o *Odontophorus capueira plumbeicollis*, isso em razão do mesmo ser uma ave terrícola e propiciar a transmissão pelo contato direto ou indireto.

Por último, a subespécie necessita de áreas bem conservadas e climaticamente aptas para sua ocorrência. Isto posto, este estudo propõe analisar além de um cenário para o passado, avaliar a adequabilidade climática em cenários do futuro para que assim seja possível identificar áreas prioritárias para sua conservação.

4.2 Registros de Ocorrência

Os dados de ocorrência da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis* foram obtidos pelos pesquisadores Weber Girão Silva e Fábio Nunes, a partir de visitas de campo, consultas a materiais de coleções científicas e posteriormente disponibilizados em planilha eletrônica, totalizando 30 pontos. Os dados foram organizados quanto ao tipo de registro, observações e categorizações de presença, sendo elas: existente, possivelmente existente, possivelmente extinto, extinto e presença incerta. Ademais, para realizar a modelagem de nicho ecológico foram eliminados os pontos de ocorrência com registros anteriores ao ano de 1950, tendo em vista a prevenção de viés acerca de dados muito antigos, que são de difícil validação devido a ausência de tecnologias neste período. Outrossim, para evitar viés espacial, utilizamos a ferramenta spThin (AIELLO-LAMMENS, 2015), a qual está implementada no pacote ENMTML, empregado no software RStudio (<http://www.rstudio.com/>). Essa ferramenta funciona realizando uma filtragem espacial nas presenças, retirando pontos que são geograficamente muito próximos entre si para evitar enviesar os modelos climáticos. Ao fim da correção de coordenadas, retivemos 11 pontos de ocorrência que foram usados nos modelos de nicho.

4.3 Variáveis Ambientais

O WorldClim (www.worldclim.org) é uma plataforma que fornece dados de variáveis climáticas globais a partir dos valores mensais de temperatura e precipitação, a fim de gerar variáveis biologicamente mais significativas. O projeto WorldClim também disponibiliza 19 variáveis bioclimáticas, mais simples de interpretar do ponto de vista ecológico, para download em formato raster, além da variável topográfica, representada pela altitude. Essas variáveis climáticas representam tendências anuais, sazonalidade, e fatores ambientais extremos ou limitantes. Outrossim, são médias de valores de precipitação mensal e temperatura mínima, média e máxima obtidos durante os anos de 1970 a 2000 (FICK; HIJMANS, 2017).

A versão 2.1 do WorldClim (FICK; HIJMANS, 2017), utilizada neste trabalho, disponibiliza as variáveis em quatro resoluções espaciais, entre 30 segundos ($\sim 1 \text{ km}^2$) a 10 minutos ($\sim 340 \text{ km}^2$). Para realizar as projeções futuras e modelar para o cenário atual, foi utilizada a resolução de 2.5 minutos ($\sim 5 \text{ km}^2$), uma vez que essa possui maior resolução espacial das informações e possibilita identificar áreas prioritárias para conservação do uru-do-nordeste. Já para o cenário paleoclimático, foi utilizada a resolução 2.5 minutos ($\sim 5 \text{ km}^2$) para 19 variáveis bioclimáticas obtidas do banco de dados do PaleoClim (BROWN *et al.* 2018; <http://www.paleoclim.org/>).

Para a modelagem, utilizamos 19 variáveis bioclimáticas disponíveis no WorldClim (www.worldclim.org) (TABELA 1), para as condições do presente (1970-2000) e para cenários futuro (2041-2060 e 2081-2100). Para o cenário paleoclimático do Último Máximo Glacial (cerca de 22 mil anos antes do presente) foram utilizadas as 19 variáveis bioclimáticas obtidas no banco de dados do PaleoClim (BROWN *et al.* 2018) do modelo global NCAR CCSM4 (KARGER, 2021). Ambas com resolução de 2.5 minutos ($\sim 5 \text{ km}^2$) para o Neotrópico.

Para evitar a colinearidade entre as variáveis climáticas, as variáveis individuais foram submetidas a uma Análise dos Componentes Principais, ou PCA, em inglês (Principal Component Analysis), em ambiente R de análise de dados (<http://www.rstudio.com/>). A PCA é um método que tem por finalidade a análise dos dados visando a eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais representativas dos dados (DESTRO *et al.*, 2020; VELAZCO *et al.*, 2021). Dessa forma, a PCA possibilita a identificação do arranjo que melhor representa os dados, uma vez que, analisa a relação entre as variáveis e fornece um modelo mais confiável.

À vista disso, foi possível criar o modelo de distribuição potencial para o clima presente para espécie foco do trabalho. Após isso, o modelo de nicho ecológico foi projetado para o cenário paleoclimático e para cenários futuros de aquecimento global, disponibilizados pelo PaleoClim e WorldClim, respectivamente (Tabela 1).

Para projeção climática de aquecimento global, usamos a projeção do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como a fonte das condições climáticas futuras. Os cenários futuros de mudanças climáticas são representações plausíveis das emissões futuras de Gases de Efeito Estufa (GEE) baseados em um conjunto de suposições coerentes e fisicamente consistentes, tais como demografia, desenvolvimento sócio-econômico e mudanças tecnológicas.

Os cenários de aquecimento global são estimados em relação às condições climáticas do globo a partir dos Relatórios de Mudanças Climáticas, realizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Esses relatórios apresentam cenários, chamados de Shared Socioeconomic Pathway (SSPs) que são cenários de mudanças socioeconômicas globais projetadas até 2100 (ano limítrofe para o século corrente). Eles são utilizados para originar cenários de emissões de GEE com diferentes políticas climáticas. Ademais, os SSPs contribuíram para a formulação do sexto relatório de avaliação do IPCC (AR6).

O AR6 avaliou os resultados de temperatura projetados de um conjunto de cinco cenários baseados na estrutura dos SSPs. Os nomes desses cenários consistem no SSP em que se baseiam (SSP1-SSP5), sendo assim identificados: SSP1: Sustentabilidade; SSP2: Meio do Caminho; SSP3: Rivalidade Regional; SSP4: Desigualdade; SSP5: Desenvolvimento movido a combustível fóssil (RIAHI *et al.*, 2017). Ademais, esses cenários possuem previsões de menor ou de maior emissão, de acordo com o balanço de energia que incide no planeta até o ano de 2100 (de 1,9 a 8,5 W/m²), variando também conforme as políticas climáticas que serão adotadas.

O SSP245 é o cenário em que as emissões de GEE são intermediárias, e geram emissões de CO₂ em torno dos níveis atuais até 2050, caindo, mas não atingindo zero líquido até 2100. Já no cenário mais alarmante, SSP585, as emissões de GEE são muito altas, uma vez que, as emissões de CO₂ triplicarão até 2075 (RIAHI *et al.*, 2017; BRASIL, 2016).

Avaliamos os efeitos da mudança climática usando dois *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs): o SSP245, um cenário de estabilização em que a forçante radiativa total é estabilizada pouco depois de 2100 e o SSP285, um cenário pessimista caracterizado pelo aumento das emissões de gases estufa ao longo do tempo. Para as projeções de cenário SSP245 e SSP285 para o futuro, foi selecionado o modelo de circulação global ISPL- CM6A-LR.

Tabela 1 - Variáveis bioclimáticas obtidas na base de dados WorldClim e PaleoClim (2.5 minutos de resolução espacial, ~ 5km²).

| Variáveis | Variável Ambiental |
|-----------|--------------------------------------------|
| BIO 1 | Temperatura média anual |
| BIO 2 | Faixa diurna média |
| BIO 3 | Isotermalidade |
| BIO 4 | Sazonalidade de temperatura |
| BIO 5 | Temperatura máxima do mês mais quente |
| BIO 6 | Temperatura mínima do mês mais frio |
| BIO 7 | Amplitude anual de temperatura |
| BIO 8 | Temperatura média do trimestre mais úmido |
| BIO 9 | Temperatura média do trimestre mais seco |
| BIO 10 | Temperatura média do trimestre mais quente |
| BIO 11 | Temperatura média do trimestre mais frio |
| BIO 12 | Precipitação anual |
| BIO 13 | Precipitação do mês mais chuvoso |
| BIO 14 | Precipitação do mês mais seco |
| BIO 15 | Sazonalidade de precipitação |
| BIO 16 | Precipitação do trimestre mais úmido |
| BIO 17 | Precipitação do trimestre mais seco |
| BIO 18 | Precipitação do trimestre mais quente |
| BIO 19 | Precipitação do trimestre mais frio |

Fonte: Adaptada de FICK; HIJMANS,(2017).

4.4 Modelagem de nicho ecológico

O presente estudo realizou a modelagem de nicho utilizando o pacote ENMTML (DE ANDRADE *et al.*, 2020), implementado no software RStudio (<http://www.rstudio.com/>). Esse pacote reúne diversos parâmetros que, quando associados às ocorrências observadas das espécies-alvo juntamente às variáveis ambientais, reproduz um espaço ambiental multidimensional através dos algoritmos que infere parâmetros de nicho e prediz a distribuição de espécies (DESTRO *et al.*, 2020).

O RStudio (<http://www.rstudio.com/>), é um ambiente de desenvolvimento integrado para linguagem R, sendo um software livre e de código aberto. Ele inclui um console que permite a execução direta de código, bem como, ferramentas para plotagem, histórico e limpeza de dados.

O algoritmo utilizado para avaliar nossa espécie-alvo foi Maxent Simple (PHILLIPS, 2017). Esse algoritmo se baseia no princípio da máxima entropia, utilizando dados de presença em conjunto com parâmetros ambientais para avaliar a adequação ambiental, se destacando de

outros algoritmos que se utilizam apenas de dados de presença (PHILLIPS *et al.*, 2006). Para evitar a colinearidade entre as variáveis preditoras foi utilizada a metodologia PCA, onde foram selecionados eixos derivados da PCA para serem o novo conjunto de variáveis para o procedimento de modelagem.

Ademais, o modelo foi avaliado para a espécie-foco de acordo com os seguintes parâmetros: i) Seleção de pseudo-ausência: utilizamos o método onde as pseudo-ausências são ambientalmente restrita a uma região com adequação de valores previstos por um modelo BIOCLIM (WISZ; GUIBAN, 2009); ii) Particionamento do modelo: utilizamos o método block de validação cruzada, onde é realizado particionamento de localidades de ocorrência em compartimentos de teste e treinamento, com base em um tabuleiro de damas geograficamente estruturado (ROBERTS *et al.*, 2017); iii) Limiar de corte para mapas binários: o limiar foi definido através do método em que a soma da sensibilidade e especificidade é a mais alta (LIU *et al.*, 2005).; iv) Precisão dos modelos: utilizamos a Área Sob a Curva (AUC) para avaliar a precisão dos modelos.

A AUC é um índice independente que estima a qualidade do modelo, seu valor varia de 0,0 até 1,0. Dessa forma, quanto maior a AUC, melhor o modelo está em prever (FAWCETT, 2004; KOMAC *et al.*, 2016). **Assim, cada modelo apresenta um valor de AUC, que auxilia na escolha do melhor modelo. Outrossim, os valores de $AUC \geq 0,8$ são considerados de bons a excelentes (KOMAC *et al.*, 2016).**

Os modelos de nicho para o presente e para os modelos paleoclimáticos e cenários SSP futuros foram gerados em formato raster ASCII e foram trabalhados usando o SIG QGIS 3.22.8. A adequação ambiental da espécie foi analisada no software Qgis, baseando-se nos valores de *True Skill Statistic* (TSS) como limiar para adequabilidade do *Odontophorus capueira plumbeicollis*. Além disso, calculamos a área adequada para cada cenário a partir do limiar. A área total (Km²) de nicho adequada foi calculada para o Brasil, usando o valor do TSS como valor de corte.

Pixels que tiveram valor de adequabilidade inferior ao do TSS foram considerados como não adequados. Pixels com valor igual ou superior ao TSS foram considerados adequados. O cálculo de área foi realizado através do pacote Terra no ambiente R de análise de dados, este pacote realiza análise de dados espaciais através de formatos raster ou vetor. A área de adequabilidade foi produzida com recortes para o Brasil e os domínios fitogeográficos da Mata Atlântica e Caatinga.

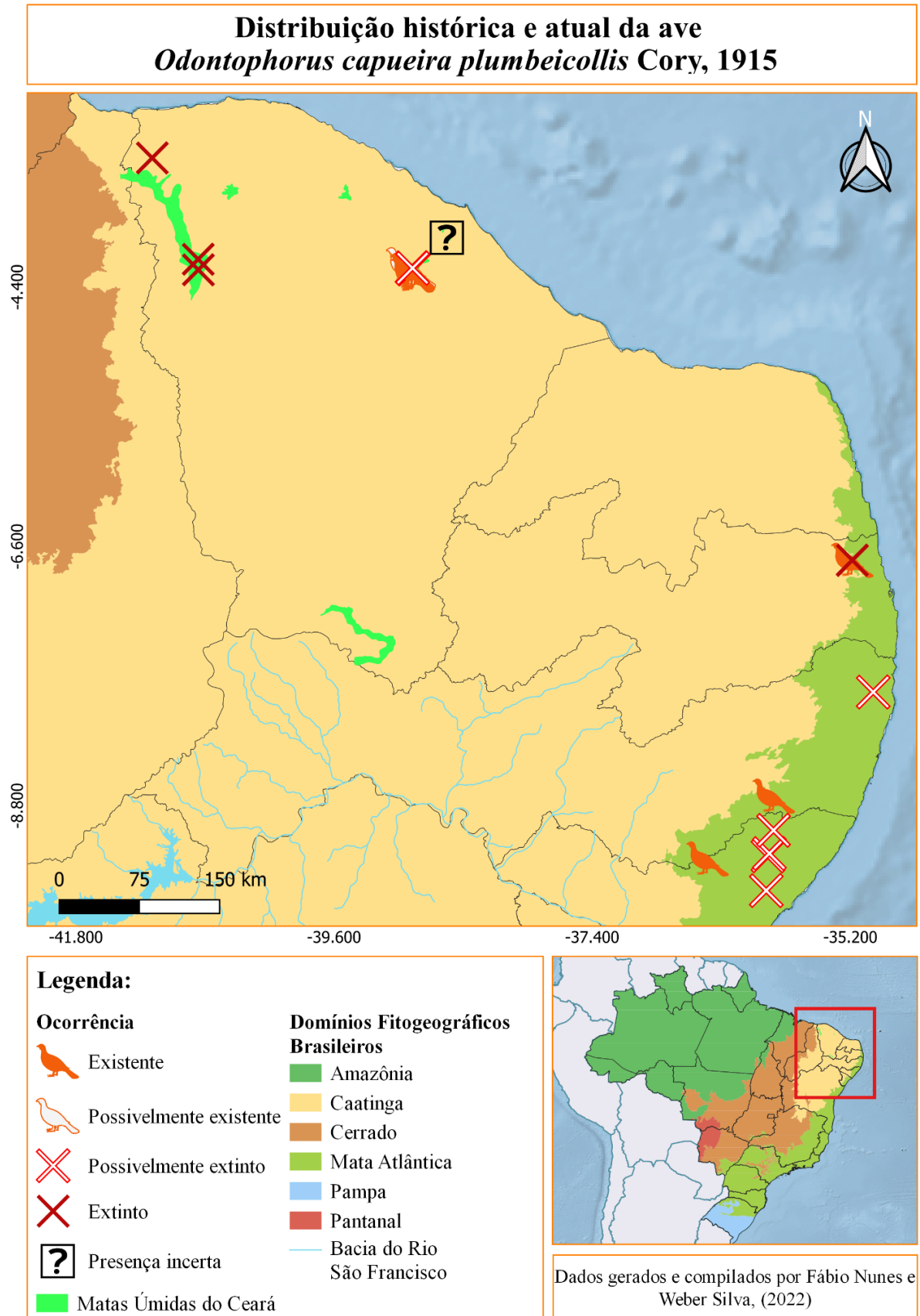
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Distribuição histórica e atual

Neste estudo, mapeamos os pontos de ocorrência histórica e atual da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis* (FIGURA 3), baseado em registros disponíveis em coleções biológicas, observação em campo por especialistas (registro sonoro ou fotográfico) ou em relatos que passaram por vários crivos de confiabilidade para garantir que a ocorrência era de fato da espécie alvo. Confirma-se que seu nicho é restrito às regiões de matas úmidas do Nordeste, se distribuindo ao norte da Mata Atlântica (áreas ao norte do Rio São Francisco) e em áreas de brejos de altitude na Caatinga (Figura 3).

A sua distribuição ao norte do Rio São Francisco chama atenção pela disjunção em relação à ocorrência da sua espécie irmã, a subespécie *Odontophorus capueira capueira*, também conhecida como uru-do-sudeste. O uru-do-sudeste ocorre apenas ao sul do Rio São Francisco, com distribuição na região tropical leste do Brasil até o leste do Paraguai e no nordeste da Argentina (PIACENTINI *et al.* 2015). Ademais, a própria distribuição do uru-do-nordeste constitui disjunção, tendo em vista suas ocorrências dissociadas no norte da Mata Atlântica e em encaves de matas úmidas em meio a Caatinga.

Figura 3: Mapa de distribuição histórica (registros dos séculos 19, 20 e 21) e atual do uru-do-nordeste (*Odontophorus capueira plumbeicollis*).

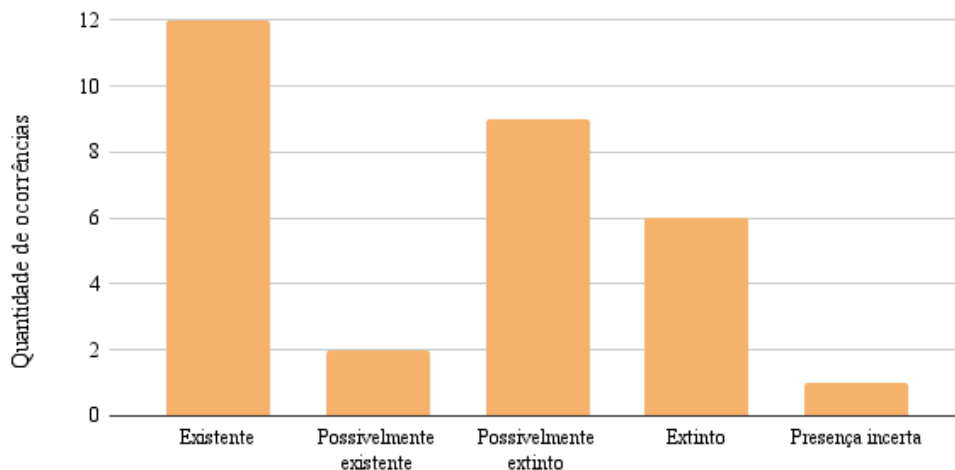


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De acordo com os dados compilados por Fábio Nunes e Weber Silva, em diversas áreas há populações que foram extintas ou possivelmente extintas localmente (Figura 3). Dos 30 pontos analisados e plotados para elaboração dos mapas de distribuição, 15 pontos de ocorrência parecem estar extintos ou em processo de extinção local, pois a espécie não foi encontrada em buscas ativas nas últimas décadas. A ocorrência passada da subespécie nas áreas úmidas da serra da Ibiapaba é confirmada por relatos e um exemplar de museu do século 19, mas atualmente buscas ativas não puderam mais localizar a espécie. A ocorrência da espécie na Serra da Aratanha, próximo a Baturité, foi classificada como presença incerta. O ambiente parece adequado, e a distância geográfica para a serra de Baturité, onde a espécie está presente, é relativamente pequena, mas buscas ativas não localizaram a espécie no local. Por conseguinte, parte significativa da sua distribuição original foi perdida, como pode-se observar no gráfico (Gráfico 1). Ademais, é possível associar o declínio do uru-do-nordeste à redução histórica do domínio fitogeográfico da Mata Atlântica e seus remanescentes.

Gráfico 1 - Categorização dos pontos de ocorrência históricos e atuais da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*.

Categorização dos pontos de ocorrência históricos e atuais da ave uru-do-nordeste



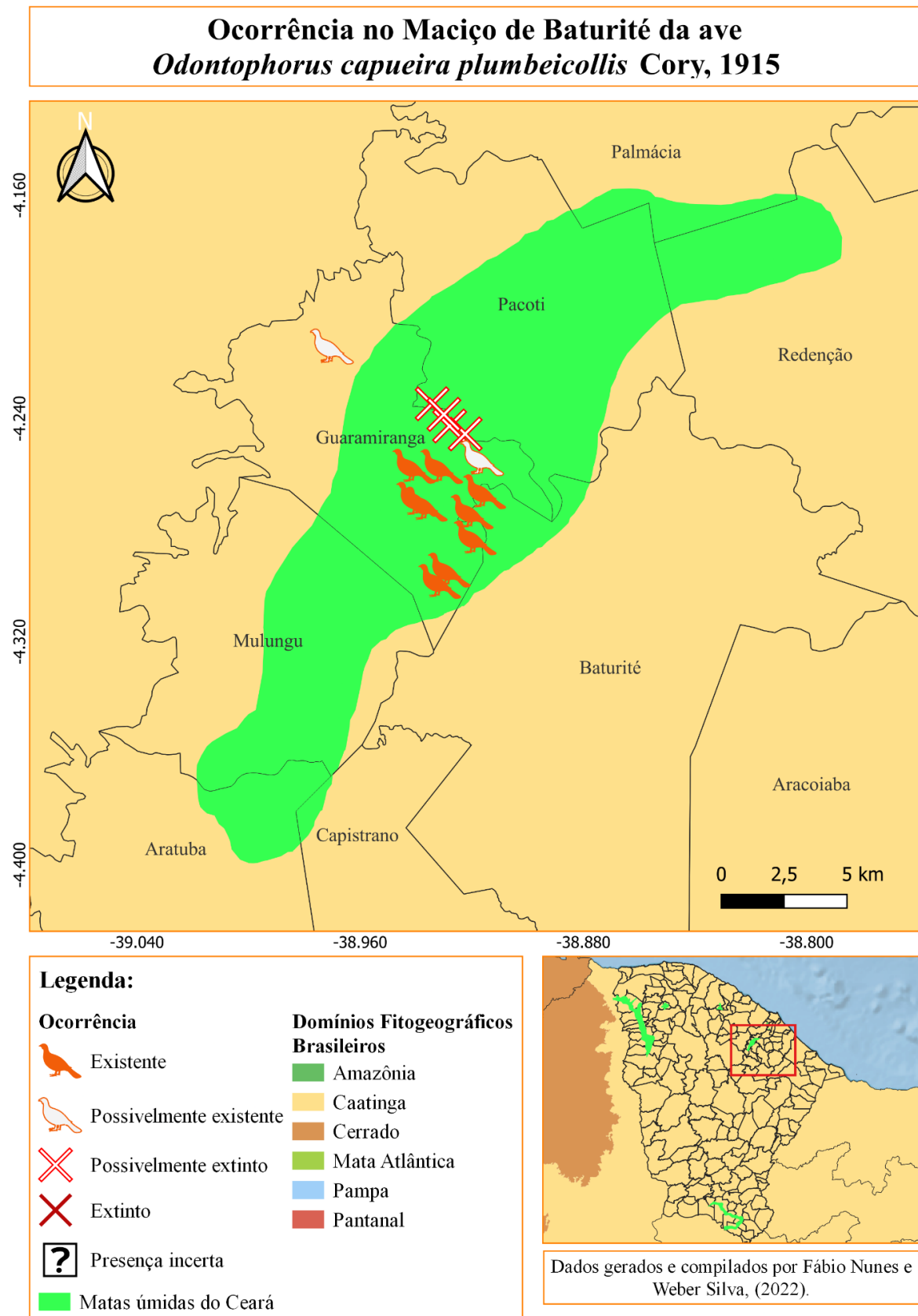
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Desse modo, cabe destacar que atualmente existem evidências de que as florestas se contraem durante períodos glaciais e se expandem em períodos de interglaciação (HAFFER 1969, MAYLE et al. 2004). Com isso, as mudanças climáticas globais foram capazes de causar tais ciclos, principalmente ao longo do Quaternário (FLENLEY, 1998; MORLEY, 2000). Também é possível fazer referência ao Último Máximo Glacial, que causou contatos e

desconexões entre as florestas tropicais através da diminuição do nível do mar. Com isso, embora Amazônia e Mata Atlântica estejam separadas atualmente, ao longo das flutuações paleoclimáticas houve conexões entre esses dois grandes blocos florestais, que em mais de um momento devem ter formado uma floresta contínua (SOBRAL-SOUZA; LIMA-RIBEIRO, 2017). Assim, é possível inferir que a ocorrência disjunta do uru-do-nordeste é resultante de antigas conexões entre as florestas úmidas brasileiras.

Ao analisar a ocorrência no Maciço de Baturité (Figura 4), verifica-se que, dentro da mesma serra, há áreas com pontos de existência ao sul e que, um pouco mais ao norte o *Odontophorus capueira plumbeicollis* inicia a declinar, gerando dúvidas quanto à sua existência na localidade. À vista disso, sugere-se que, devido aos municípios do Maciço sofrerem com intensa especulação imobiliária e expansão de agricultura, suceda fragmentação das áreas de ocorrência do uru, bem como, facilite a dispersão de doenças provenientes de animais domésticos, viabilizando extinções locais.

Figura 4: Mapa de ocorrência do uru-do-nordeste (*Odontophorus capueira plumbeicollis*) no Maciço de Baturité, Ceará.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

5.2 Avaliação de nicho potencial e áreas prioritárias para conservação

Os modelos elaborados foram obtidos a partir da seleção dos seis primeiros eixos da PCA (ANEXO A; ANEXO B), tanto para o cenário paleoclimático, como para o atual cenário e projeções futuras, tendo em vista que demonstraram possuir o melhor arranjo de representação das variáveis para modelagem. Os modelos apresentaram uma performance satisfatória, uma vez que os valores de AUC foram acima de 0,9, tanto para o cenário paleoclimático, como para o cenário presente e projeções futuras. O modelo desenvolvido para o Último Máximo Glacial apresentou AUC de 0.95, evidenciando um bom desempenho. Outrossim, o modelo para o atual cenário e cenários de mudança climática, apresentaram AUC de 0.93, ratificando o desempenho da modelagem de nicho elaborado por este estudo.

Ademais, estabelecemos quatro classes de adequabilidade considerando as áreas acima do valor de *True Skill Statistic* (TSS) para cada cenário. As classes para o cenário atual e projeções futuras foram categorizadas variando de 0 a TSS (não adequada); TSS a 0.78 (média adequabilidade); 0.78 a 0.89 (alta adequabilidade); 0.89 a 1 (altíssima adequabilidade). O valor de TSS para o cenário atual e cenários de mudança climática estabelecido pelo modelo, foi de 0.67. Por conseguinte, áreas com pixel abaixo desse valor foram consideradas inadequadas, enquanto valores acima foram considerados para o cálculo de áreas adequadas.

No que tange o modelo paleoclimático para o Último Máximo Glacial, o TSS apresentou valor de 0.09, assim, esse foi o limiar estabelecido para identificar áreas adequadas. Com isso, as classes de adequabilidade foram categorizadas variando de 0 a TSS; TSS a 0.40; 0.40 a 0.70; 0.70 a 1.

Além disso, calculamos as áreas adequadas restritas aos domínios fitogeográficos da Mata Atlântica e Caatinga (Tabela 2), uma vez que, são as áreas onde se tem conhecimento da ocorrência histórica e atual de *Odontophorus capueira plumbeicollis*. Com isso, também foi possível realizar uma análise mais ampliada das áreas prioritárias para conservação, pois pode-se certificar quanto de área adequada foi reduzida ou aumentada, de acordo com cada cenário modelado e tendo como referência a área de adequabilidade para o presente.

À vista disso, produzimos um total de seis modelos finais para a distribuição de *Odontophorus capueira plumbeicollis*: um modelo de distribuição de nicho potencial para as condições atuais (Figura 5), um modelo de nicho potencial para o Último Máximo Glacial (Figura 6), e quatro modelos para cenários de mudança climática futura: SSP245 para o período de 2041 a 2060 (Figuras 7), SSP585 para o período de 2041 a 2060 (Figura 8), SSP245 para o período de 2081 a 2100 (FIGURA 9) e SSP585 para o período de 2081 a 2100.

Tabela 2: Área de adequabilidade climática (em Km²) para o atual cenário, Último Máximo Glacial e cenários SSP245 e SSP585 de mudança climática, da subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis*. Também mostramos a diferença, em porcentagem, entre o modelo de adequabilidade às condições presentes (usado como referência – valor de 100%) e às condições paleoclimáticas do Último Máximo Glacial e cenários de aquecimento global.

| Período | Área de adequabilidade Brasil (Km ²) | % | Área de adequabilidade Caatinga (Km ²) | % | Área de adequabilidade Mata Atlântica (Km ²) | % |
|-----------------------|--------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------|--------|
| Presente | 205.400,60 | 100,00 | 3.064,14 | 1,49 | 131.572,8 | 64,06 |
| Último Máximo Glacial | 4.755.741,00 | 2.315,35 | 682.675,50 | 332,36 | 425.564,00 | 207,19 |
| SSP245 (2041-2060) | 51.116,63 | 24,89 | 426,30 | 0,21 | 27.198,05 | 13,24 |
| SSP585 (2041-2060) | 55.825,41 | 27,18 | 340,99 | 0,17 | 30.976,88 | 15,08 |
| SSP245 (2081-2100) | 23.534,55 | 11,46 | 255,73 | 0,12 | 9.093,22 | 4,43 |
| SSP585 (2081-2100) | 3.359,98 | 1,64 | 0,00 | 0,00 | 3.144,62 | 1,53 |

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

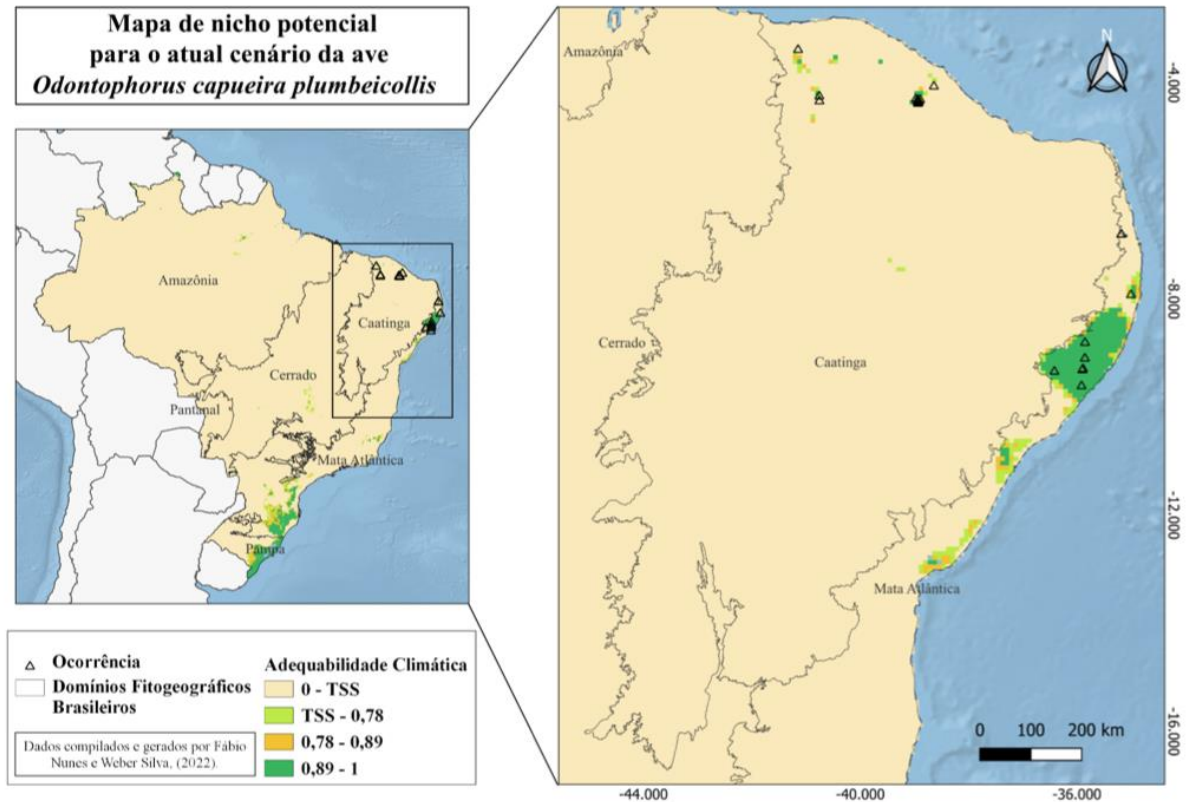
Para os mapas produzidos, representamos na cor creme, pixels não adequados (0 – TSS), na cor verde clara, pixels com média adequabilidade (TSS – 0.78), na cor laranja, pixels com alta adequabilidade (0.78 - 0.89) e, por último, os pixels na cor verde escuro representam alta adequabilidade climática (0.89 – 1) para a espécie do estudo.

5.2.1 Modelagem para o clima atual da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*

Ao modelar o nicho climático potencial da espécie para o cenário atual, o resultado obtido evidenciou áreas adequadas nos brejos de altitude do estado do Ceará e na porção norte da Mata Atlântica, compatível com a distribuição conhecida da subespécie (FIGURA 5). Além dessas áreas, a modelagem apresentou extensões de altíssima adequabilidade na porção sul da Mata Atlântica e ao sul do Pampa, onde nossa subespécie foco não ocorre, mas que são áreas onde a subespécie do sudeste existe. Dessa forma, o cenário atual expressou uma área de 205.400,60 Km² adequada para ocorrência de *Odontophorus capueira plumbeicollis* (TABELA 2). Ademais, com relação ao território brasileiro, a área de adequabilidade corresponde apenas

a 2,4% da extensão do Brasil. Por conseguinte, indica que o uru-do-nordeste, atualmente, possui áreas consideravelmente restritas para sua ocorrência.

Figura 5: Mapa de distribuição geográfica e potencial de *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o atual cenário.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As áreas com maior adequabilidade climática para ocorrência da subespécie estão fortemente associadas às áreas de florestas úmidas. O Nordeste, região a qual *Odontophorus capueira plumbeicollis* está restrito, apresentou áreas com altíssima adequabilidade nos estados de Alagoas, Pernambuco, Sergipe, Bahia e Ceará, sendo os quatro primeiros associados ao domínio fitogeográfico da Mata Atlântica. Já as áreas previstas como adequadas no Ceará são todas associadas aos enclaves de florestas úmidas em meio à Caatinga, os brejos de altitude.

Ademais, a Mata Atlântica apresentou uma extensão de 131.572,8 Km² adequados para ocorrência de *Odontophorus capueira plumbeicollis*, correspondendo a 64,06% da totalidade de área adequada para o atual cenário. Parte das áreas previstas como adequadas pelo modelo estão no Sul e Sudeste do Brasil, local de ocorrência da subespécie uru-do-sudeste, onde há o nicho, mas não a subespécie foco deste estudo. Já quando se analisa as áreas adequadas dentro do domínio da Caatinga, esse número é reduzido, exibindo uma área de 3.064,14 Km² a qual

representa apenas 1,49% da totalidade adequada do modelo para o cenário atual.

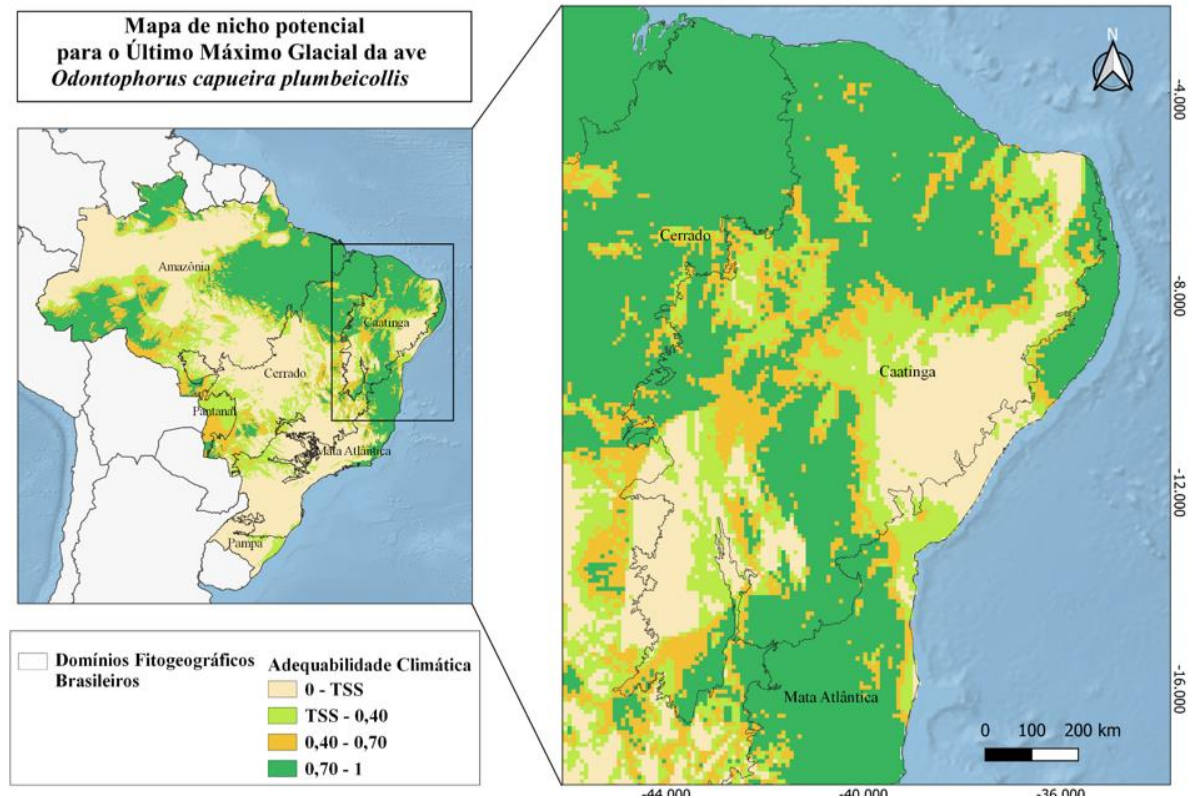
Não obstante, as regiões Sul e Sudeste apresentaram áreas com alta adequabilidade nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Espírito Santo. Apesar do uru-do-nordeste não ocorrer em tais ambientes, a espécie considerada plena *Odontophorus capueira*, a qual o uru-do-nordeste está vinculado como subespécie, ocorre nas regiões ao Sul do país. Com isso, o nicho adequado para a região de fato existe, mas as duas populações divergiram em diferentes subespécies (*Odontophorus capueira plumbeicollis* e *Odontophorus capueira capueira*), ou como alguns pesquisadores consideram, espécies.

Ademais, pequenas áreas em Goiás manifestaram média adequabilidade apresentando majoritariamente, pixels com valor de TSS – 0.78, ficando bem próximo ao limiar de adequabilidade para o uru-do-nordeste. Todavia, há um registro de vocalização no município de Itajá, em Goiás, de *Odontophorus capueira* disponibilizado na plataforma Wikiaves (wikiaves.com.br/). Assim, é provável que essa pequena porção da região central do país apresente nicho com média adequabilidade ao uru.

5.2.2 Modelagem para o Último Máximo Glacial da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*

O modelo para o Último Máximo Glacial (UMG) evidenciou uma ampla área de altíssima adequabilidade para ocorrência do *Odontophorus capueira plumbeicollis* (Figura 6), sugerindo um corredor integrado de áreas propícias para distribuição da subespécie na Caatinga, Cerrado, Amazônia e norte da Mata Atlântica. Ademais, tal resultado pode esclarecer como ocorreu a disjunção das populações atuais presentes nos brejos de altitude da Caatinga e na região norte da Mata Atlântica.

Figura 6: Mapa de nicho potencial da subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o cenário paleoclimático do Último Máximo Glacial.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Conexões biogeográficas entre Amazônia e Mata Atlântica são foco de estudos biogeográficos (MORLEY, 2000; BATALHA-FILHO *et al.*, 2013). As buscas por evidências do elo entre as duas principais florestas tropicais da América do Sul, revelaram possíveis rotas de conexão através do parentesco entre espécies que ocorrem em ambos os domínios (MACHADO, 2020; BATALHA-FILHO *et al.*, 2013; SOBRAL-SOUZA, 2017). Ademais, o fato de estarem disjunta atualmente se atrela ao soerguimento dos Andes, a qual provocou mudanças no clima e na vegetação (MORLEY, 2000; MACHADO, 2020), tornando o clima mais seco, onde a redução das florestas úmidas abriu espaço para expansão das savanas. Com isso, surgiu o que se chama de diagonal seca, um conjunto de ambientes na região central da América do Sul, composta pelos domínios da Caatinga, Cerrado e do Chaco árido que separa os blocos florestais amazônico e atlântico.

Na Diagonal seca, embora dominada por savanas e florestas estacionais decíduas, é possível encontrar encaves de florestas úmidas e florestas estacionais semidecíduas, que são

consideradas como remanescentes de uma ponte histórica de conexão biogeográfica entre os domínios da Amazônia e Mata Atlântica (OLIVEIRA-FILHO, 1995). Assim, os brejos de altitude da Caatinga, um dos ambientes em que o uru-do-nordeste ocorre, são testemunhos dessa antiga conexão. Dessa forma, o modelo elaborado pelo presente estudo para o Último Máximo Glacial, apontou uma possível rota de conexão entre Amazônia e Mata Atlântica atravessando a Caatinga, onde além de elucidar a ocorrência disjunta do *Odontophorus capueira plumbeicollis* evidencia uma possível ponte biogeográfica para demais espécies que ocorrem nos diferentes ambientes.

As espécies do gênero *Odontophorus* que ocorrem no Brasil, são divididas em quatro espécies plenas as quais se subdividem em quatro subespécies com ocorrência no país. O *Odontophorus stellatus* e *Odontophorus gujanensis*, apresentam distribuição na Amazônia, no Norte do Brasil, enquanto que no *Odontophorus capueira* a ocorrência se estabelece ao leste e nordeste, na Mata Atlântica e nos brejos de altitude. Com isso, confirma-se que as espécies referentes a esse gênero possuem distribuição disjunta, não ocorrendo nos ecossistemas secos do país, como a vegetação de cerrado e caatinga. Dessa forma, tendo em vista o histórico de expansão e retração das florestas úmidas, é possível inferir que em algum momento do passado essas espécies estiveram juntas e podem ter sucedido de um ancestral comum.

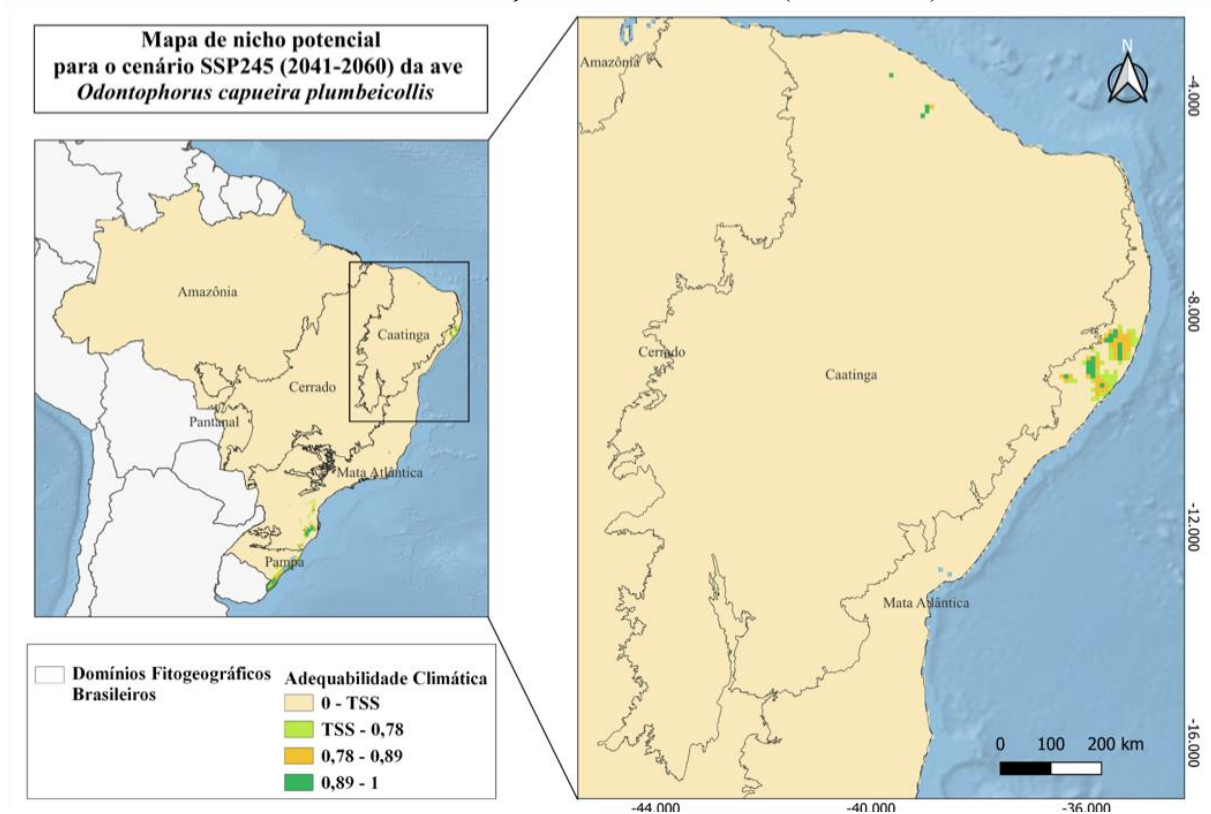
Em síntese, o UMG foi um período onde o clima global se apresentou mais úmido, tendo em vista que o planeta passava por um momento de resfriamento (CABALLERO, 2010). À vista disso, é provável que ao longo desse intervalo o clima do Brasil tenha se tornado mais adequado ao nicho de *Odontophorus capueira plumbeicollis*, uma vez que, o modelo elaborado para esse período mostrou que sua área de adequabilidade expandiu em 2.215,35 % (um aumento de mais de 22 vezes). Portanto, o cenário paleoclimático do UMG apresentou uma área adequada de 4.755.741,00 Km², correspondendo a um aumento de áreas adequadas com relação ao presente de 2.215,35% (Tabela 2).

Cabe destacar que, as áreas adequadas para o domínio fitogeográfico da Caatinga chamam atenção por apresentarem um total de 682.675,50 Km² durante o UMG, sendo assim uma área de adequabilidade maior que o domínio da Mata Atlântica, a qual apresentou 425.564,00 Km². Quanto à porcentagem, a Caatinga apresentou uma ampliação expressiva de 22.179,51%, enquanto que a Mata Atlântica teve um aumento de 223,44% em relação ao cenário atual.

5.2.3 Modelagem para o cenário de mudança climática SSP245 (2041-2060) da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*

Ao modelar o nicho climático potencial da espécie para cenários futuros de mudanças climáticas, verificamos que a área total de adequabilidade potencial foi reduzida significativamente quando comparada ao atual cenário. O cenário SSPs 45, embora mais otimista em relação ao SSPs 85, ainda assim sugeriu uma redução significativa das áreas adequadas de distribuição potencial. A totalidade de áreas adequadas para esse cenário futuro foi de 51.116,63 Km², representando uma redução de 75.11% em relação às condições presentes (TABELA 2). Quando analisamos esse cenário para o domínio da Mata Atlântica, as áreas com potencial de adequabilidade se restringem a 27.198,05 Km², equivalente a uma perda de mais da metade da área dentro do Domínio Atlântico, com redução significativa de 79.32%.

Figura 7: Mapa de nicho potencial da subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o cenário de mudança climática SSP245 (2041-2060)



Esta projeção também evidenciou apenas 426,30 Km² de áreas adequadas para o domínio da Caatinga, diferentemente do cenário atual, que apresentou 3.064,14 Km², a área de Caatinga adequada para o cenário SSP245 (2041-2060), reduziu uma extensão de 2637,84 Km², equivalente a uma perda de 86,08%. Além disso, a área adequada para essa projeção correspondeu a 0,21% em relação à área total de adequabilidade para o cenário atual.

Cabe destacar que as áreas que anteriormente apresentavam altíssima adequabilidade de nicho climático também se reduziram drasticamente. Os estados Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e Espírito Santo que apresentaram no cenário atual áreas abrangentes com altíssima adequabilidade reduziram sua extensão, se restringindo a regiões mais próximas ao litoral. Em síntese, é possível que essa migração de nicho de áreas mais interioranas para zonas costeiras seja uma estratégia adotada pelas espécies para resistir às pressões climáticas, mas ao considerar o grau elevado de desmatamento e fragmentação ao qual a Mata Atlântica está submetida (Ribeiro *et al.* 2009) e as grandes distâncias envolvidas em tal processo de migração, ficamos preocupados com a conservação desta espécie se os cenários de mudanças climáticas se estabelecerem.

As áreas que apresentaram adequabilidade na região central do país no atual cenário foram praticamente eliminadas em sua totalidade no cenário SSP245 (2041-2060). Outrossim, a região Nordeste, que no atual cenário apresentou uma forte concentração de áreas com alta adequabilidade nos estados de Alagoas e Pernambuco, passaram a não só reduzir as áreas adequadas, como também o grau de adequabilidade, sendo o pixel predominante na projeção de 0.78 - 0.89.

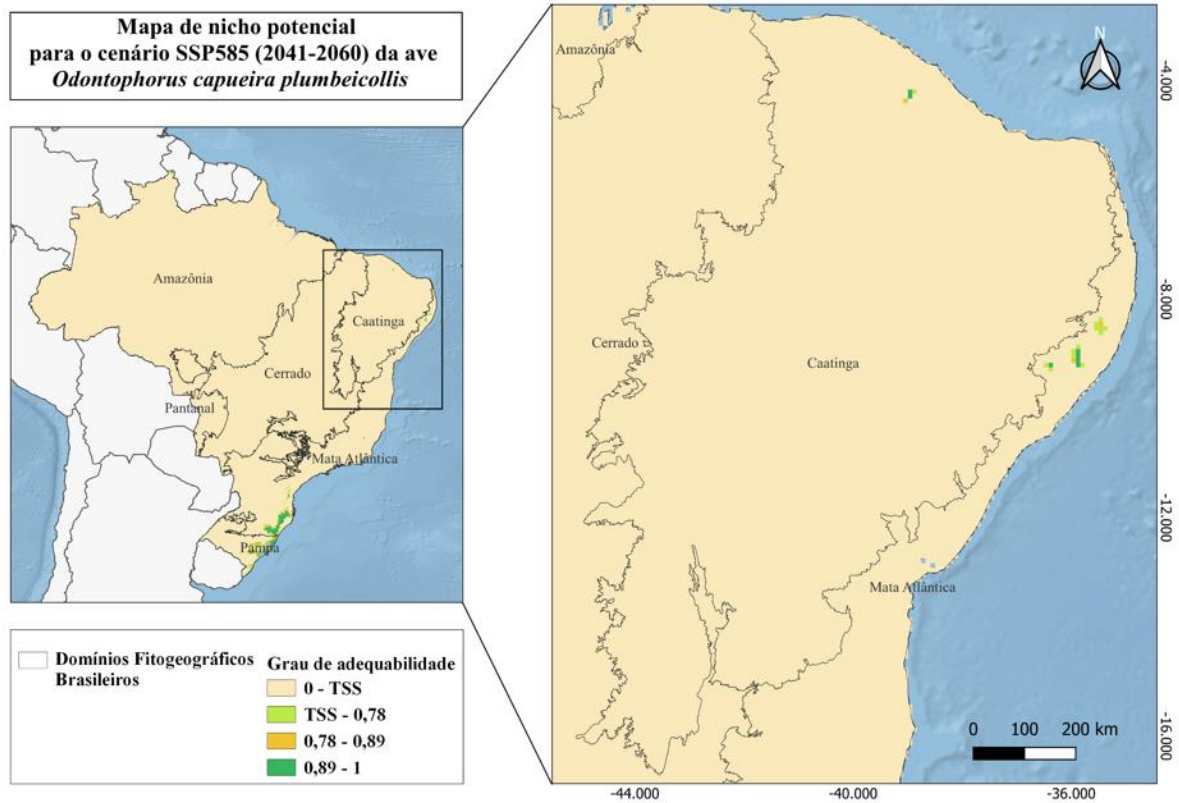
No que diz respeito aos brejos de altitude, houve uma redução intensa no estado do Ceará, restando apenas o Maciço de Baturité e uma pequena área no maciço de Uruburetama entre os municípios de Itapajé e Uruburetama com áreas de adequabilidade. Por conseguinte, ressalta-se a necessidade de mobilizar esforços para conservação da subespécie, tendo em vista sua ecologia e a necessidade de Matas Úmidas preservadas. Deste modo, é importante salientar a relevância do Maciço de Baturité para *Odontophorus capueira plumbeicollis*, tendo em vista que este brejo de altitude concentra mais da metade dos pontos de ocorrência conhecidos para a ave e é uma das áreas de adequabilidade mais resilientes nesse cenário de mudanças climáticas.

5.2.4 Modelagem para o cenário de mudança climática SSP585 (2041-2060) da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*

O cenário SSP585, para o ano de 2041 a 2060 (FIGURA 8), apresentou uma perda em áreas adequadas de 72,82% em relação à área de adequabilidade para o presente, sendo reduzida uma extensão de 149.575,19 Km² e sua área total de adequabilidade 55.825,41 Km². No entanto, houve um aumento de 4.708,78 Km², quando comparado ao cenário SSP245 (2041-2060). Contudo, é importante evidenciar que as áreas onde houve aumento relevante foram nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, regiões em que o uru-do-nordeste não ocorre,

uma vez que está restrito ao Nordeste do Brasil.

Figura 8: Mapa de nicho potencial da subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o cenário de mudança climática SSP585 (2041-2060)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Além disso, houve redução nas áreas de adequabilidade no estado de Alagoas, Pernambuco e Ceará, com o ressaltado do grau de adequabilidade também ter reduzido, áreas que no cenário SSP245 (2041-2060) apresentavam altíssima adequabilidade, nesse cenário reduziram em extensão e em níveis de adequabilidade.

O domínio da Caatinga apresentou uma redução de 2.723,15 Km² correspondendo a uma perda de 88,87%, confirmando que em cenários de mudança climática essa área tende a perder adequabilidade para *Odontophorus capueira plumbeicollis*. Contudo, o Maciço de Baturité se destaca em meio a esse domínio, uma vez que, foi a única região que evidenciou áreas adequadas. Por conseguinte, apresentou 340,99 Km² de áreas adequadas no domínio fitogeográfico da Caatinga.

Já a Mata Atlântica, revelou uma redução em áreas adequadas de 76,45%, expondo uma extensão de 30.976,88 Km². No entanto, quando esse valor é comparado ao cenário anterior, SSP245 (2041-2060), percebe-se o aumento de áreas adequadas neste domínio, uma vez que,

evidenciou 3.778,83 Km² a mais que o SSP245 (2041-2060), apontando 13.89% de aumento. Todavia, as áreas de Mata Atlântica em que apresentaram aumento de adequabilidade foram ao sul da Mata Atlântica no estado de Santa Catarina e parte do Rio Grande do Sul. Dessa forma, na área em que se tem conhecimento da distribuição de uru-do-nordeste, as áreas de adequabilidade foram reduzidas, não apresentando nenhum ambiente com altíssima adequabilidade.

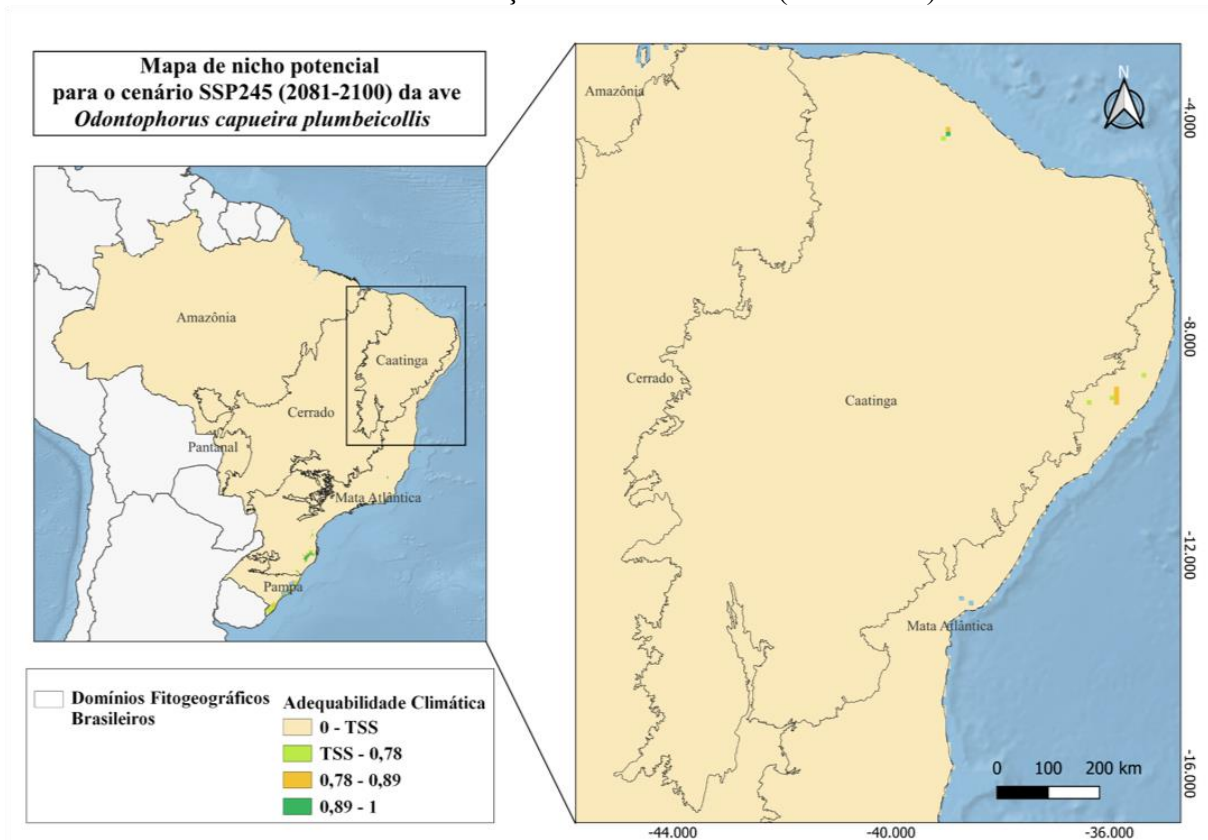
A única área que apresentou alta adequabilidade na região de distribuição do *Odontophorus capueira plumbeicollis* foi o Maciço de Baturité. A região do Maciço apresenta relevância excepcional como área prioritária para conservação, não só por ser área de distribuição do uru-do-nordeste, a qual se encontra criticamente ameaçado, mas por ser área de ocorrência de mais 11 espécies de aves ameaçadas (NUNES, 2015), sendo elas: arapaçu-de-garganta-amarela (*Xiphorhynchus guttatus*), periquito-cara-suja (*Pyrrhura griseipectus*), pintassilgo-do-nordeste (*Spinus yarrellii*), jacucaca (*Penelope jacucaca*), chupa-dente (*Conopophaga lineata*), choca-da-mata (*Thamnophilus caerulescens cearensis*), saíra-militar (*Tangara cyanocephala*), maria-do-nordeste, (*Hemitriccus mirandae*), tucaninho-da-serra (*Selenidera gouldii baturitensis*), arapaçu-rajado-do-nordeste (*Xiphorhynchus atlanticus*) e vira-folha-cearense (*Sclerurus cearensis*).

5.2.5 Modelagem para o cenário de mudança climática SSP245 (2081-2100) da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*

Ao analisar o modelo SSP245 (2081-2100) (FIGURA 9), verificamos que a área total de adequabilidade potencial foi reduzida drasticamente, quando comparada ao atual cenário. Para essa projeção, o modelo apresentou uma área total adequada de 23.534,55 Km², representando uma redução de 88.54% em relação à área de adequabilidade para o presente. No domínio da Caatinga essa área reduziu para 255,73 Km², se distribuindo apenas no estado do Ceará, exclusivamente no Maciço de Baturité com áreas adequadas majoritariamente no perímetro da APA da Serra de Baturité. Esse cenário evidencia a resiliência deste ambiente, que mesmo sob pressões climáticas, é a única região dentro do domínio da Caatinga a apresentar áreas de adequabilidade para o uru-do-nordeste.

No que tange às demais regiões em que se tem conhecimento de ocorrência de *Odontophorus capueira plumbeicollis* (FIGURA 3), a área que apresentou maior extensão de adequabilidade foi o estado de Alagoas, mais especificamente dentro do perímetro da Unidade de Conservação (UC) Área de Proteção Ambiental (APA) de Murici.

Figura 9: Mapa de nicho potencial da subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o cenário de mudança climática SSP245 (2081-2100)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No entanto, apesar de apresentar maior prolongamento de áreas adequadas, a região dessa UC não apresentou nenhuma área de altíssima adequabilidade. Enquanto a região com adequabilidade no Ceará, apresentou uma extensão de adequabilidade menor, porém com níveis maiores de adequabilidade, sendo novamente, a única a apresentar altíssima adequabilidade na área de ocorrência do uru-do-nordeste.

Levando em consideração que, para o modelo SSP245 (2081-2100) a Caatinga apresentou apenas 0,12% de áreas adequadas em relação ao cenário atual (TABELA 2), ratifica que esse domínio exibiu reduções significativas e contínuas, diante dos cenários de mudança climática. Assim como, as áreas de adequabilidade ao norte da Mata Atlântica (região de distribuição geográfica de *Odontophorus capueira plumbeicollis*), também apresentaram reduções igualmente drásticas e preocupantes. Desse modo, as projeções futuras para cenários de mudança climática, reforçam a sensibilidade da ave quando se insere alterações climáticas para contextos de aquecimento.

No que compete a Mata Atlântica, foi evidenciada uma área de adequabilidade total de

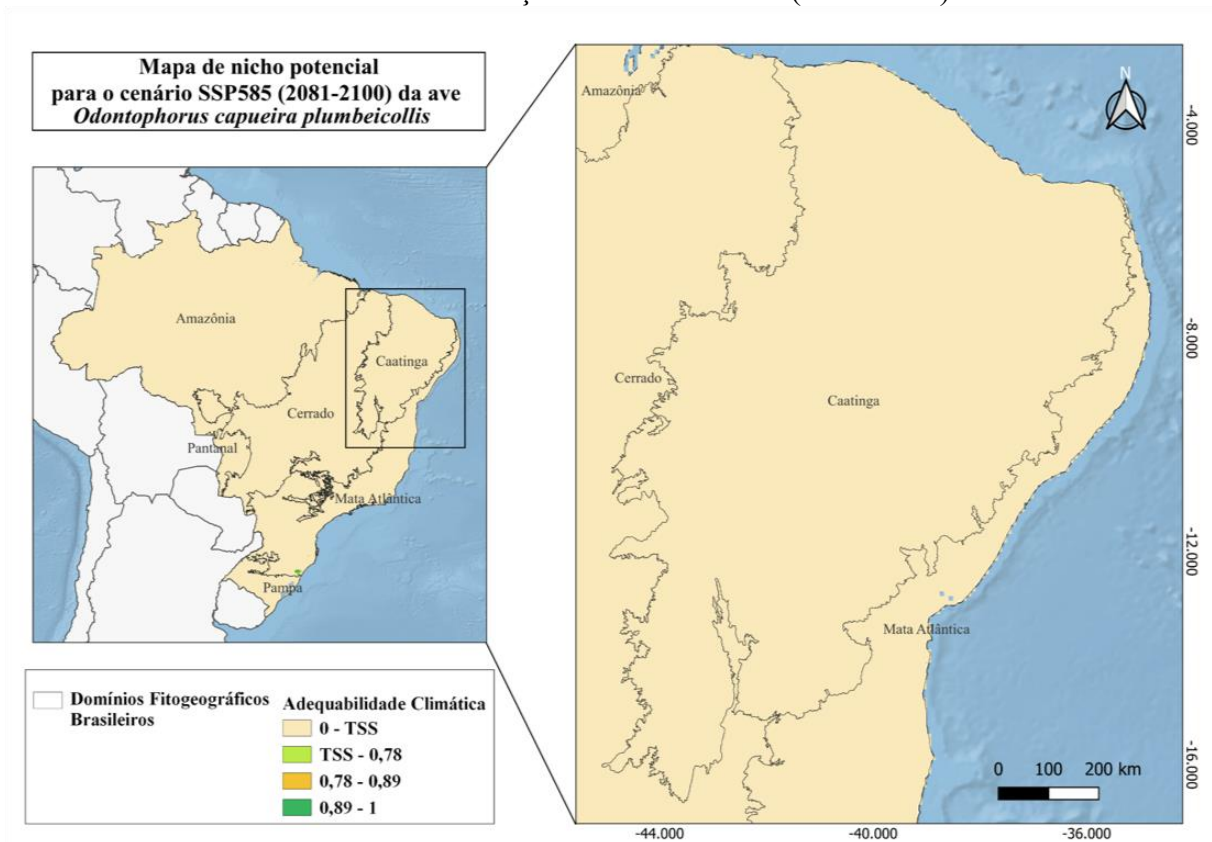
9.093,22 Km², simbolizando apenas 4,43%. Ademais, as regiões desse domínio que apresentaram maiores áreas adequadas foram nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com destaque para Santa Catarina que apresentou áreas de altíssima adequabilidade, apesar disso, tais áreas não estão inseridas em regiões de distribuição do uru-do-nordeste.

Em síntese, é importante destacar que, mesmo em um cenário mais distante (2081-2100), o uru-do-nordeste ainda apresentou áreas com altíssima adequabilidade em um brejo de altitude no Ceará. Apesar do cenário SSP245 ser mais brando, em relação ao SSP585, as áreas de adequabilidade para esse modelo evidenciaram a importância de se implementar políticas conservacionistas que visem proteger áreas ainda conservadas no Maciço de Baturité, bem como buscar aplicabilidade quanto às legislações em vigência.

5.2.6 Modelagem para o cenário de mudança climática SSP585 (2081-2100) da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*

Por fim, o cenário SSPs 85, mais pessimista, apresentou a redução total de áreas adequadas na Caatinga e ao norte da Mata Atlântica, regiões onde o uru-do-nordeste se distribui histórica e atualmente. Por conseguinte, a subespécie ficou restrita a uma área ínfima no estado do Rio Grande do Sul, na porção sul da Mata Atlântica. Dessa forma, o modelo SSP585 (2081-2100) apresentou apenas uma pequena área de 3.359,98 Km² de extensão, correspondendo a 1.53% da totalidade exibida para o atual cenário.

Figura 10: Mapa de nicho potencial da subespécie *Odontophorus capueira plumbeicollis* para o cenário de mudança climática SSP585 (2081-2100)



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Ao analisar o modelo mais pessimista desse estudo, sugere-se que áreas adequadas para *Odontophorus capueira plumbeicollis* na sua atual região de distribuição, deixarão de existir. Ao passo que áreas mais ao sul do domínio Mata Atlântica e parte do Pampa, próximo ao litoral, apresentam, mesmo no cenário mais crítico, pequenas áreas adequadas para ocorrência do uru-do-nordeste, mas em uma área geograficamente muito distante da sua ocorrência natural para que a espécie possa sobreviver.

De acordo com Menezes *et al.* (2021), quando espécies são expostas a cenários de mudança climática, podem migrar ou modificar seus requisitos de nicho a fim de evitar a extinção. Quando a espécie não possui capacidade para colonizar novas áreas que tornem viáveis compensar condições ambientais externas extremas, ela inevitavelmente terá sua área de ocorrência reduzida, podendo enfrentar a extinção. O que se observa no presente estudo é um possível cenário onde a espécie não encontre áreas adequadas dentro de sua distribuição natural caso os piores cenários de mudanças climáticas se concretizem.

Contudo, por se tratar de uma subespécie endêmica, sua capacidade de transição entre ambientes pode ser mais limitada, quando comparada a espécies abundantes ou cosmopolitas.

Ademais, o êxito de *Odontophorus capueira plumbeicollis* não depende apenas de fatores climáticos, como os apresentados no presente estudo, tendo em vista que suas ameaças atualmente estão fortemente ligadas a intervenção humana direta ou indiretamente a curto prazo, como urbanização, doenças transmitidas por animais domésticos e a caça. Com isso, destaca-se a urgência para frear tais ameaças como citado anteriormente.

Um dos meios eficazes de fornecer proteção às áreas de ocorrência do uru-do-nordeste, é através do estabelecimento de UCs nas regiões com maior adequabilidade. As áreas que mais apresentaram adequabilidade para o nicho potencial em conformidade com a sua distribuição, ao longo das projeções de cenários futuros para mudança climática, foram Alagoas, onde as principais áreas que demonstraram adequabilidade estão inseridas na Área de Proteção Ambiental de Murici, e o Maciço de Baturité, no Ceará, onde as áreas mais pertinentes estão dentro da Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité.

Todavia, destaca-se que ambas as UCs citadas acima estão dentro da categoria de Uso Sustentável, de categoria APA, que é a que oferece o menor grau de proteção à biodiversidade. De acordo com a Lei Nº 9.985, de 18 de Julho de 2000 do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, Art. 15., é assim definida:

A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (SNUC, 2010).

Assim, ainda são permitidos diversos usos dentro das APAs, possibilitando, desta forma, a fragmentação dos ambientes ou degradação ambiental. Dentro da APA de Baturité, por exemplo, temos diversos casos de expansão urbana e agrícola e até mesmo sedes municipais.

Todavia, existem iniciativas promissoras em defesa do *Odontophorus capueira plumbeicollis*. A ONG AQUASIS, por exemplo, atua na Serra de Baturité através do Projeto Cara-Suja, a qual alinhando esforços ao poder público, conseguiu criar recentemente através do Decreto Estadual nº 32.791, de 17 de agosto de 2018, o Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) Periquito Cara Suja (SEMA), uma UC de Proteção Integral, a qual assegura áreas mais conservadas, sem a interferência humana direta.

Com isso, uma possibilidade para auxiliar o êxito de *Odontophorus capueira plumbeicollis* seria ampliar a extensão da REVIS, uma vez que, atualmente possui uma área modesta de 39,12 hectares. E, dessa forma, proteger integralmente áreas mais amplas onde

o uru-do-nordeste ocorre.

Não obstante, salienta-se a importância de analisar as áreas prioritárias para conservação, tendo em vista que o nicho potencial de *Odontophorus capueira plumbeicollis* apresentou sensibilidade às alterações climáticas em cenários de aquecimento. À vista disso, os modelos de nicho potencial atual e para cenários de mudança climáticas, elaborados pelo presente estudo, podem auxiliar na formulação de políticas e projetos conservacionistas que visem repovoar as áreas adequadas para o uru-do-nordeste. Norteando quais ambientes estão aptos a prosperar em uma possível introdução, como também, alertar para áreas que requerem mais instrumentos para conservar o ambiente.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo mapeou os pontos de ocorrência histórica e atual de *Odontophorus capueira plumbeicollis*, confirmando que seu nicho é restrito às regiões de matas úmidas. Ademais, produzimos um conjunto de modelos de nicho potencial, a partir da distribuição conhecida, associada a variáveis climáticas. Verificamos que no cenário do Último Máximo Glacial, as áreas adequadas se expandiram significativamente, sugerindo a ocorrência de um corredor de áreas adequadas para a subespécie na Caatinga, que sugere uma possível conexão entre os hoje isolados brejos de altitude e a Mata Atlântica.

Os modelos para cenários de mudança climática, apresentaram redução drástica e contínua nas áreas que possuem ocorrência conhecida de *Odontophorus capueira plumbeicollis*. Por conseguinte, o cenário SSP585 (2081-2100), mais pessimista, não apresentou áreas com adequabilidade de nicho potencial do uru-do-nordeste no domínio fitogeográfico da caatinga e ao norte da Mata Atlântica. No entanto, evidenciou áreas de adequabilidade nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, apresentando relativa mudança de nicho potencial da espécie para áreas mais ao sul do que ocorre atualmente.

Além disso, verificamos que até o cenário SSP245 (2081-2100), a única região que se manteve apresentando áreas com altíssima adequabilidade na área de distribuição conhecida, foi o Maciço de Baturité, um enclave de mata úmida em meio ao domínio da Caatinga que revelou maior resiliência frente aos cenários de aquecimento. Por conseguinte, o presente estudo fornece dados pertinentes à conservação da ave *Odontophorus capueira plumbeicollis*. Assim, analisamos os modelos de projeção futura em cenários de mudança climática, e os resultados obtidos são preocupantes. Tendo em vista que, as áreas com nicho potencial para distribuição do uru-do-nordeste são reduzidas drasticamente. Por conseguinte, o alerta e os esforços para conservação da ave precisam ser constantes e eficazes, tendo em vista que, de acordo com os cenários para o presente e futuro a tendência da espécie é ter suas áreas adequadas reduzidas. Portanto, conclui-se que modelos de nicho potencial são especialmente importantes para auxiliar políticas conservacionistas. Com o uru-do-nordeste não foi diferente, através do presente estudo foi possível identificar áreas com maior potencial de adequabilidade para o atual cenário e cenários de aquecimento. Além disso, possibilitou analisar um cenário paleoclimático que fundamentou a ocorrência disjunta atual de *Odontophorus capueira plumbeicollis*.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Azis Nacib. Conhecimentos sobre as flutuações climáticas do Quaternário no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v. 6, n. 1, p. 41-57, 1957. Disponível em: http://boletim.siteoficial.ws/pdf/1957/6_1-39-46.pdf. Acesso em: 03 Abr. 2022.
- AIELLO-LAMMENS, Matthew E. *et al.* spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. **Ecography**, v. 38, n. 5, p. 541-545, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ecog.01132>. Acesso em: 10 Jan. 2022.
- ALBANO, Ciro; GIRÃO, Weber. Aves das matas úmidas das serras de Aratanha, Baturité e Maranguape, Ceará. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 16, n. 2, p. 142-154, 2008. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55521358/12-Aves-das-matas-umidas-das-serras-de-Aratanha-Baturite-e-Maranguape-Ceara-Albano_-_Girao-2008-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1658615674&Signature=Eo9Ez5imCLX~4gaMuOqEXzak7w5NQMA0jdGnQJmFMOj7qclAxxwp9Wy0srda1l8~iJf~LetFAaOJAWHMjqFpjwP2suYvaPHVxxNEbjIDTCoGZp6T~HImczAyqOojmFeh3zlmreQIHWP8P4uY9m5iVjEVIMS7AMnv6w6v3O3ldOqZjZ85JLnbcCinzVOMYg9qNKxCc~PhZxCy~bMDIsIVjUR~1slkAtLzg0KWxa6pZFvj0f3-bHe7MgjDfEgF~omhxyGB~FakajHn6PIftdRLLtT-9OlzpVRpmSHmrlyyTRSeUVr1R3i34bOxxLxaofSz0cH9D3PnNRXXsuFt1-BA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 24 Mar. 2022.
- ALEIXO, Alexandre Luis Padovan. Conceitos de espécie e suas implicações para a conservação. 2009. Disponível em: <https://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/540>. Acesso em: 13 Mar. 2022.
- ANDERSON, Robert P.; LEW, Daniel; PETERSON, A. Townsend. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological modelling**, v. 162, n. 3, p. 211-232, 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380002003496>. Acesso em: 17 Fev. 2022.
- ANDRADE-LIMA, D. de. Present-day forest refuges in northeastern Brazil. **Biological diversification in the tropics**, v. 245, p. 251, 1982.
- BATALHA-FILHO, Henrique *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. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10336-012-0866-7>. Acesso em: 07 Jan. 2022.
- BIAU, Gérard; SCORNET, Erwan. A random forest guided tour. **Test**, v. 25, n. 2, p. 197-227, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11749-016-0481-7>. Acesso em: 15 Mar. 2022.
- BRASIL. Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Regulamenta artigos da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. 2002. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4340.htm> Acesso em: 18 Fev. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima.

Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil.

Brasília, 2016. 590p.

BROWN, Jason L. *et al.* PaleoClim, high spatial resolution paleoclimate surfaces for global land areas. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2018. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/sdata2018254>. Acesso em: 15 Mai. 2022.

BUENO, Bruno Arantes de Andrade *et al.* **Modelagem de nicho ecológico aplicada à conservação do patomergulhão (*Mergus octosetaceus*, Vieillot, 1817) no Brasil.** 2012.

Disponível em: <https://clyde.dr.ufu.br/handle/123456789/13360>. Acesso em: 20 Abr. 2022.

CABALLERO, Margarita *et al.* Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial.

Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 62, n. 3, p. 359-377, 2010. Disponível em:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-33222010000300005&script=sci_abstract&tlng=pt)

[33222010000300005&script=sci_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-33222010000300005&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 23 Fev. 2022.

CLARK, Peter U. *et al.* The last glacial maximum. **science**, v. 325, n. 5941, p. 710-714, 2009.

COSTA, Gabriel 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. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/geb.12694>. Acesso em: 15 Fev. 2022.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/geb.12694>. Acesso em: 15 Fev. 2022.

COSTA, Leonora 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. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2699.2003.00792.x>. Acesso em: 15

Abr. 2022.

COUTINHO, Antonia Vanessa da Silva *et al.* **Modelagem de nicho ecológico e efeito das mudanças climáticas em populações do lagarto *Norops fuscoauratus* (Duméril & Bibron, 1837)(Squamata: Dactyloidae) em áreas florestadas da América do sul.** 2019. Disponível

em: <http://www.bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1162>. Acesso em: 25 Mai. 2022.

DALAPICOLLA, J. **Tutorial de modelos de distribuição de espécies: guia prático usando o MaxEnt e o ArcGIS 10.** Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia. Universidade

Federal do Espírito Santo, Vitória. Retrieved, v. 6, 2016. Acesso em: 28 Fev. 2022.

Federal do Espírito Santo, Vitória. Retrieved, v. 6, 2016. Acesso em: 28 Fev. 2022.

DÁRIO, F. R.; ALMEIDA, A. F. Influência de corredor florestal sobre a avifauna da Mata Atlântica. **Scientia Forestalis**, v. 58, p. 99-109, 2000.

DASILVA, Marcio Bernardino; PINTO-DA-ROCHA, Ricardo; DESOUSA, Adriano

Medeiros. História biogeográfica da Mata Atlântica: opiliões (Arachnida) como modelo para

sua inferência. **Biogeografia da América do Sul-Padrões e Processos (CJB Carvalho, EAB Almeida, org.). Roca, São Paulo**, p. 221-238, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Marcio-Dasilva-3/publication/303162573_A_historia_biogeografica_da_Mata_Atlantica_Opilioes_Arachnida_como_modelo_para_sua_inferencia/links/588e00e6aca272fa50e096ba/A-historia-biogeografica-da-Mata-Atlantica-Opilioes-Arachnida-como-modelo-para-sua-inferencia.pdf. Acesso em 30 Jan. 2022.

DE ANDRADE, André Felipe Alves; VELAZCO, Santiago José Elías; JÚNIOR, Paulo De Marco. ENMTML: An R package for a straightforward construction of complex ecological niche models. **Environmental Modelling & Software**, v. 125, p. 104615, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815219310424>. Acesso em: 01 Fev. 2022.

DE PIACENTINI, Vítor Q. *et al.* Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee/Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 23, n. 2, p. 91-298, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03544294>. Acesso em: 06 Jan. 2022.

DESTRO, Guilherme Fernando Gomes *et al.* Climate suitability as indicative of invasion potential for the most seized bird species in Brazil. **Journal for Nature Conservation**, v. 58, p. 125890, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1617138120301369>. Acesso em: 07 Abr. 2022.

DIRZO, Rodolfo *et al.* Defaunation in the Anthropocene. **science**, v. 345, n. 6195, p. 401-406, 2014. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1251817>. Acesso em: 14 Jan 2022.
Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1172873?cookieSet=1>. Acesso em: 04 Abr. 2022.

FARIA, Christiana *et al.* Aves de um fragmento de Mata Atlântica no alto Rio Doce, Minas Gerais: colonização e extinção. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 4, p. 1217-1230, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbzool/a/BkHnnRYBQtwrD49MLcRZyVM/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 14 Mai. 2022.

FAWCETT, Tom. ROC graphs: Notes and practical considerations for researchers. **Machine learning**, v. 31, n. 1, p. 1-38, 2004. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.4749&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 03 Mar. 2022.

FICK, Stephen E.; HIJMANS, Robert 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. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5086>. Acesso em: 08 Fev. 2022.

FLENLEY, J. R. Tropical forests under the climates of the last 30,000 years. In: **Potential impacts of climate change on tropical forest ecosystems**. Springer, Dordrecht, 1998. p. 37-57. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2730-3_2. Acesso em: 14 Fev. 2022.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2001. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 1995–2000**. Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, São Paulo. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Fernando-Pinto/publication/360842992_Atlas_da_Mata_Atlantica_2022_relatorio_tecnico/links/628e2a8a55273755ebb50c48/Atlas-da-Mata-Atlantica-2022-relatorio-tecnico.pdf. Acesso em: 18 Fev. 2022.

GALETTI, Mauro. **Porque as Florestas Precisam de Animais? Consequências ecológicas e evolutivas da defaunação na Mata Atlântica**. 2015. Disponível em: https://ib.rc.unesp.br/Home/Pos-Graduacao44/secaotecnicadepos46/ecologiaebiodiversidade/santander_2015.pdf. Acesso em: 14 Mar. 2022.

GALINDO-LEAL, C. & I.G. CÂMARA. 2003. Atlantic forest hotspots status: an overview. In C. Galindo-Leal & I.G. Câmara (eds.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook**. pp. 3-11. Center for Applied Biodiversity Science e Island Press, Washington, D.C. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=FkPy-K4iroAC&oi=fnd&pg=PA3&dq=GALINDO-LEAL,+C.+%26+I.G.+C+MARA.+2003.+Atlantic+forest+hotspots+status:+an+overview.+in+C.+Galindo-Leal+%26+I.G.+C%C3%A2mara+\(eds.\).+The+Atlantic+Forest+of+South+America:+biodiversity+status,+threats,+and+outlook.+pp.+3-11.+Center+for+Applied+Biodiversity+Science&ots=XQqAprwvNW&sig=DQI2JEH6Qh5y_K3Knd39ib7T378#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=FkPy-K4iroAC&oi=fnd&pg=PA3&dq=GALINDO-LEAL,+C.+%26+I.G.+C+MARA.+2003.+Atlantic+forest+hotspots+status:+an+overview.+in+C.+Galindo-Leal+%26+I.G.+C%C3%A2mara+(eds.).+The+Atlantic+Forest+of+South+America:+biodiversity+status,+threats,+and+outlook.+pp.+3-11.+Center+for+Applied+Biodiversity+Science&ots=XQqAprwvNW&sig=DQI2JEH6Qh5y_K3Knd39ib7T378#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 25 Mar. 2022.

GIANNINI, Tereza C.; SIQUEIRA, Marinez F.; ACOSTA, André L.; BARRETO, Francisco C.C.; SARAIVA, Antônio M.; SANTOS, Isabel Alves dos. **Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies**, S/1, 17 nov. 2011. DOI <https://doi.org/10.1590/S2175-78602012000300017>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rod/a/hdyTWhzSjpNY6vfj5zdcktr/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 31 Jan. 2022.

GUIBAN, Antoine; THUILLER, Wilfried. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology letters**, v. 8, n. 9, p. 993-1009, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>. Acesso em: 24 Jan. 2022.

GUIBAN, Antoine; ZIMMERMANN, Niklaus E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological modelling**, v. 135, n. 2-3, p. 147-186, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380000003549>. Acesso em: 01 Jun. 2022.

HAFFER, Jürgen. 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. Disponível em: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.165.3889.131>. Acesso em: 15 Abr. 2022.

IBGE 1992. **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE, Rio de Janeiro, 92 p. (Série

Manuais Técnicos em Geociências, n.1).

ICMBIO. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume III.**

Brasília, DF: ICMBIO/MMA, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/35946>. Acesso em: 02 Abr. 2022.

ICMBIO. **Plano de ação nacional para a conservação dos Galliformes ameaçados de extinção: (acaruãs, jacus, jacutingas, mutuns e urus).** Brasília, DF: ICMBio, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019). **Biomass e sistema costeiro marinho do Brasil Compatível com a escala 1:250 000.** (Série Relatórios Metodológicos).

JOLY, Carlos Alfredo. Biodiversidade e mudanças climáticas: contexto evolutivo, histórico e político. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, p. 169-172, 2007. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/asoc/a/ZsdnJwrFJts9zb8FjvGjsPx/?lang=pt>. Acesso em: 08 Jan 2022.

KARGER, Dirk Nikolaus *et al.* CHELSA-TraCE21k v1. 0. Downscaled transient temperature and precipitation data since the last glacial maximum. **Climate of the Past Discussions**, p. 1-27, 2021. Disponível em: <https://cp.copernicus.org/preprints/cp-2021-30/>. Acesso em 21 Jun. 2022.

KOMAC, Benjamin *et al.* Modelization of the current and future habitat suitability of *Rhododendron ferrugineum* using potential snow accumulation. **PLoS One**, v. 11, n. 1, p. e0147324, 2016. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0147324>. Acesso em: 24 Mai. 2022.

LEDO, Roger Maia Dias; COLLI, Guarino Rinaldi. The historical connections between the Amazon and the Atlantic Forest revisited. **Journal of biogeography**, v. 44, n. 11, p.

Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jbi.13049>. Acesso em: 13 Fev. 2022.

LIMA, Luciano Moreira. **Aves da Mata Atlântica: riqueza, composição, status, endemismos e conservação.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Disponível em: [file:///C:/Users/pc/Downloads/Luciano_Lima_COMP%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/Luciano_Lima_COMP%20(1).pdf). Acesso em: 05 Fev. 2022.

LIU, Canran *et al.* Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. **Ecography**, v. 28, n. 3, p. 385-393, 2005. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.0906-7590.2005.03957.x>. Acesso em: 20 Jan. 2022.

MACHADO, Arielli Fabrício. Biogeografia de mamíferos e as rotas de conexão entre florestas da Amazônia e Mata Atlântica. 2020. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/221645>. Acesso em: 04 Mai. 2022.

MATA ATLÂNTICA. SOS Mata Atlântica, São Paulo, [2014]. Acesso em: 02 Fev. 2022.

Disponível em: <https://www.sosma.org.br/conheca/mata-atlantica/>.

MAYLE, Francis 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. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2003.1434>. Acesso em: 06 Abr. 2022.

MENEZES, Isiara Silva *et al.* Identification of priority areas for *Eschweilera tetrapetala* (Lecythidaceae) conservation in response to climate change. **Rodriguésia**, v. 72, 2021. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rod/a/K3s8mxprfcWfQrhnMXfcspv/abstract/?lang=en>. Acesso em: 14 Fev. 2022.

MIX, Alan C.; BARD, Edouard; SCHNEIDER, Ralph. Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG). **Quaternary Science Reviews**, v. 20, n. 4, p. 627-657, 2001. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277379100001451>. Acesso em: 14 Jun. 2022.

MORELLATO, L. Patrícia C. *et al.* Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 811-823, 2000. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x>. Acesso em: 4 Jan. 2022.

MORELLATO, L. Patrícia C.; HADDAD, Célio FB. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2000. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00618.x>. Acesso em 15 Mai. 2022.

MORLEY, Robert J. *et al.* **Origin and evolution of tropical rain forests**. John Wiley & Sons, 2000. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20000612672>. Acesso em: 20 Mai. 2022.

MORO, Marcelo Freire *et al.* A phytogeographical metaanalysis of the semiarid Caatinga domain in Brazil. **The Botanical Review**, v. 82, n. 2, p. 91-148, 2016. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s12229-016-9164-z>. Acesso em: 14 Abr. 2022.

MORO, Marcelo Freire *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, p. 717-743, 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rod/a/dq6rXHrrW9prk9vGXzgdYv/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 Mar. 2022.

MYERS, Norman *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/35002501?foxtrotcallbac>. Acesso em: 17 Jan. 2022.

MYERS, Norman. Biodiversity hotspots revisited. **BioScience**, v. 53, n. 10, p. 916-917, 2003. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/10/916/254893?login=false>.

Acesso em 25 Fev. 2022.

NUNES, Fábio de Paiva; LOPES, Ileyne Tenório. Guia fotográfico: aves da Serra de Baturité. Fortaleza: **AQUASIS**, c2015. 180 p. ISBN 9788561613716 (broch.).

OLIVEIRA-FILHO, Ary Teixeira; RATTER, Jimmy 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. Disponível em:

<https://www.cambridge.org/core/journals/edinburgh-journal-of-botany/article/abs/study-of-the-origin-of-central-brazilian-forests-by-the-analysis-of-plant-species-distribution-patterns/A2AA22B2EF9E18957D407BE2E6C90947>. Acesso em: 24 Fev. 2022.

OLIVEIRA-FILHO, Ary T.; FONTES, Marco Aurélio L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 793-810, 2000. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>. Acesso em: 25 Mar. 2022.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: getting the concepts right. *Natureza & Conservação*, Kansas, v. 10, n. 2, p. 102-107, dec. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Soberon/publication/255721977_Species_Distribution_Modeling_and_Ecological_Niche_Modeling_Getting_the_Concepts_Right/links/02e7e5358010c83287000000/Species-Distribution-Modeling-and-Ecological-Niche-Modeling-Getting-the-Concepts-Right.pdf. Acesso em: 23 Jun. 2022.

PHILLIPS, S. Maxnet: Fitting ‘maxent’ species distribution models with ‘glmnet’. **R package version 0.1**, v. 2, 2017.

PHILLIPS, Steven J.; ANDERSON, Robert P.; SCHAPIRE, Robert E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030438000500267X>. Acesso em: 16 Fev. 2022.

PÔRTO, Kátia C.; CABRAL, Jaime JP; TABARELLI, Marcelo. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. **História natural, ecologia e conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília**, 2004.

RIAHI, Keywan *et al.* The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview. **Global environmental change**, v. 42, p. 153-168, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300681>. Acesso em: 27 Mai. 2022.

RIBEIRO, Milton Cezar *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. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320709000974>. Acesso em: 17 Abr. 2022.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. p. 175-196.

ROBERTS, David R. *et al.* Cross-validation strategies for data with temporal, spatial,

hierarchical, or phylogenetic structure. **Ecography**, v. 40, n. 8, p. 913-929, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ecog.02881>. Acesso em: 14 Jun. 2022.

RODA, S. A. *Odontophorus capueira plumbeicollis* Cory, 1915. In: MACHADO, A. B. M.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (eds). **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Volume II. 1.ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2008. p. 440 - 441.

RSTUDIO. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 11 Fev. 2022.

SILLERO, Neftalí. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 8, p. 1343-1346, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380011000500>. Acesso em: 10 Mar. 2022.

SOBRAL-SOUZA, Thadeu; LIMA-RIBEIRO, Matheus Souza. De volta ao passado: revisitando a história biogeográfica das florestas neotropicais úmidas. **Oecologia Australis**, v. 21, n. 2, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/viewFile/11911/8607>. Acesso em: 14 Abr. 2022.
Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. **Software Maxent para modelagem de nichos e distribuições de espécies (versão 3.4.1)**. Disponível em: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Acessado em: 29 Abr. 2022.

TABARELLI, Marcelo *et al.* Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 132-138, 2005. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50817839/Desafios_e_oportunidades_para_a_conserva_20161210-5795-62kqri-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1658623147&Signature=Sg-oK5QbvmnKy59stsWg6XgImZQCzUWDF9QRklYdOorW-e-dOx4fkLaLepVJ6rV~sDUMVfbemTVxra1xUuCmGOiWQPzsKCRrhtxxNytM5xeuLMLmrSgdhD~7F-ffllKGB7ukZWwHwpxyRct~4KTfjr~ThQxz8IUvnFA6cVURQvVABzs~7YoXQPSNULuzhyaGZyJSs~23arGazhRZv7s9KM79uPcnOZoy06HxIRaaRLNZtPh4UnjrUjg5~aiVGiXsmL5JEBNJSBjqm9uLu15rllS7cfimN5bu5oBK6M8Qg6uTQct~y18K3FWC0PrMDcWqmcYTHdSktf4hgMg0dfDXg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em 17 Jan. 2022.

VELAZCO, Santiago José Elías *et al.* On opportunities and threats to conserve the phylogenetic diversity of Neotropical palms. **Diversity and Distributions**, v. 27, n. 3, p. 512-523, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ddi.13215>. Acesso em: 15 Jan. 2022.

WANG, Xianfeng *et al.* Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v. 432, n. 7018, p. 740-743, 2004. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature03067>. Acesso em: 11 Fev. 2022.

WISZ, Mary S.; GUIBAN, Antoine. Do pseudo-absence selection strategies influence species distribution models and their predictions? An information-theoretic approach based on simulated data. **BMC ecology**, v. 9, n. 1, p. 1-13, 2009. Disponível em; 18 Mar 2022.

ANEXO A

Coefficientes dos componentes principais selecionados a partir da análise de PCA realizada com dados da modelagem de nicho para cenários de mudanças climáticas.

| Variável | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 |
|--------------------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura Média Anual | 0.268 | 0.253 | -0.094 | 0.065 | 0.077 | -0.004 |
| Faixa Diurna Média | - 0.192 | 0.235 | -0.083 | -0.459 | -0.133 | -0.504 |
| Isotermalidade | 0.238 | -0.008 | 0.325 | -0.061 | 0.106 | -0.557 |
| Sazonalidade de Temperatura | - 0.244 | 0.045 | -0.401 | -0.001 | -0.174 | 0.130 |
| Temperatura Máxima do Mês Mais Quente | 0.149 | 0.373 | -0.318 | -0.004 | -0.109 | -0.046 |
| Temperatura mínima do mês mais frio | 0.300 | 0.113 | 0.056 | 0.179 | 0.091 | -0.017 |
| Amplitude anual de temperatura | - 0.250 | 0.147 | -0.311 | -0.214 | -0.194 | -0.056 |
| Temperatura média do trimestre mais úmido | 0.210 | 0.302 | -0.192 | -0.062 | 0.161 | -0.014 |
| Temperatura média do trimestre mais seco | 0.272 | 0.175 | 0.000 | 0.166 | -0.062 | -0.048 |
| Temperatura média do trimestre mais quente | 0.200 | 0.316 | -0.302 | -0.093 | -0.013 | -0.052 |
| Temperatura média do trimestre mais frio | 0.290 | 0.182 | 0.056 | 0.059 | 0.108 | -0.048 |
| Precipitação anual | 0.274 | -0.200 | -0.077 | -0.193 | -0.156 | 0.084 |
| Precipitação do mês mais chuvoso | 0.277 | -0.075 | 0.078 | -0.282 | -0.277 | 0.255 |
| Precipitação do mês mais seco | 0.153 | -0.346 | -0.305 | -0.027 | 0.094 | -0.330 |
| Sazonalidade de precipitação | - 0.042 | 0.301 | 0.396 | -0.374 | -0.158 | 0.038 |
| Precipitação do trimestre mais úmido | 0.278 | -0.085 | 0.072 | -0.281 | -0.270 | 0.243 |
| Precipitação do trimestre mais seco | 0.163 | -0.345 | -0.301 | -0.029 | 0.066 | -0.297 |
| Precipitação do trimestre mais quente | 0.174 | -0.161 | -0.163 | -0.548 | 0.447 | 0.236 |
| Precipitação do trimestre mais frio | 0.207 | -0.193 | -0.039 | 0.148 | -0.651 | -0.140 |
| Variância explicada para cada PC (%) | 50.4 | 21.0 | 11.1 | 5.5 | 4.1 | 2.7 |
| Variância cumulativa explicada (%) | 52.5 | 73.0 | 84.1 | 89.6 | 93.8 | 96.5 |

ANEXO B

Coeficientes dos componentes principais selecionados a partir da análise de PCA realizada com dados da modelagem de nicho para cenário paleoclimático do Último Máximo Glacial.

| Variável | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 |
|--------------------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Temperatura Média Anual | 0.265 | 0.266 | -0.103 | 0.077 | 0.021 | -0.018 |
| Faixa Diurna Média | - 0.237 | 0.169 | -0.063 | -0.095 | -0.515 | -0.322 |
| Isotermalidade | 0.213 | -0.022 | 0.347 | -0.194 | 0.252 | -0.526 |
| Sazonalidade de Temperatura | - 0.251 | 0.063 | -0.379 | -0.213 | -0.054 | 0.057 |
| Temperatura Máxima do Mês Mais Quente | 0.146 | 0.382 | -0.273 | -0.114 | -0.083 | -0.083 |
| Temperatura mínima do mês mais frio | 0.304 | 0.138 | 0.053 | 0.091 | 0.153 | -0.013 |
| Amplitude anual de temperatura | - 0.264 | 0.124 | -0.275 | -0.202 | -0.253 | -0.048 |
| Temperatura média do trimestre mais úmido | 0.206 | 0.297 | -0.211 | -0.168 | 0.106 | -0.099 |
| Temperatura média do trimestre mais seco | 0.268 | 0.201 | 0.017 | 0.079 | -0.121 | -0.168 |
| Temperatura média do trimestre mais quente | 0.188 | 0.336 | -0.294 | -0.042 | -0.023 | -0.004 |
| Temperatura média do trimestre mais frio | 0.295 | 0.182 | 0.054 | 0.114 | 0.052 | -0.038 |
| Precipitação anual | 0.273 | -0.220 | -0.068 | -0.168 | -0.163 | 0.111 |
| Precipitação do mês mais chuvoso | 0.278 | -0.113 | 0.083 | -0.274 | -0.244 | 0.295 |
| Precipitação do mês mais seco | 0.152 | -0.337 | -0.305 | -0.081 | 0.056 | -0.349 |
| Sazonalidade de precipitação | - 0.057 | 0.247 | 0.424 | -0.061 | -0.439 | 0.008 |
| Precipitação do trimestre mais úmido | 0.279 | -0.114 | 0.083 | -0.274 | -0.241 | 0.295 |
| Precipitação do trimestre mais seco | 0.157 | -0.337 | -0.303 | -0.071 | 0.054 | -0.335 |
| Precipitação do trimestre mais quente | 0.145 | -0.234 | -0.226 | -0.439 | 0.441 | 0.323 |
| Precipitação do trimestre mais frio | 0.210 | -0.153 | -0.026 | 0.637 | -0.079 | -0.206 |
| Variância explicada para cada PC (%) | 50.4 | 21.7 | 11.4 | 4.9 | 4.7 | 2.8 |
| Variância cumulativa explicada (%) | 50.4 | 72.2 | 83.6 | 88.6 | 93.3 | 96.1 |