



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS -  
BIODIVERSIDADE NEOTROPICAL (PPGBIO)**

**CARLOS EDUARDO ARLÉ RIBEIRO DE SOUZA**

**EXPOSIÇÃO DAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HEMITRICCUS* (AVES,  
RHYNCHOCYCLIDAE) A MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS**

**Rio de Janeiro**

**2017**

**EXPOSIÇÃO DAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HEMITRICCUS* (AVES,  
RHYNCHOCYCLIDAE) A MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS**

**CARLOS EDUARDO ARLÉ RIBEIRO DE SOUZA**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Biológicas  
(Biodiversidade Neotropical ) da  
Universidade Federal do Estado do Rio de  
Janeiro como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Biológicas.**

**Orientador: Profa. Dra. Maria Lucia Lorini**

**Coorientador: Prof. Dr. Rafael da Rocha Fortes**

**Rio de Janeiro**

**2017**

**EXPOSIÇÃO DAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HEMITRICCUS* (AVES,  
RHYNCHOCYCLIDAE) A MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS**

**Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Biológicas  
(Biodiversidade Neotropical ) da  
Universidade Federal do Estado do Rio de  
Janeiro como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Ciências  
Biológicas.**

**Banca Examinadora**

---

**Dra. Maria Lucia Lorini – Departamento de Ciências Naturais – UNIRIO  
(Presidente da Banca)**

---

**Dr. Henrique Bastos Rajão Reis – Centro de Ciências Biológicas e Medicina – PUC-RJ**

---

**Dr. Marcos de Souza Lima Figueiredo – Departamento de Ecologia – UFRJ**

---

**Dr. Bruno Moreira de Carvalho – Fundação Instituto Oswaldo Cruz – FIOCRUZ**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à UniRio e aos seus professores e funcionários por ter tido a honra de fazer parte desta instituição nos últimos nove anos. Ao PPGBIO e à CAPES pela estrutura e pelo financiamento que tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais, Lígia Arlé e Eduardo Ribeiro, pelo material genético, por tudo que fizeram por mim, e por sempre me terem incentivado ao estudo, moral e financeiramente.

À minha avó Célia Arlé, por me abrigar carinhosamente durante todo o mestrado.

Às pessoas importantes da minha família, principalmente minha avó Vanda Pacheco, minha tia Raquel Pacheco e meus primos Marianna e Lucas Guerra (futuro biólogo), pelo apoio de sempre.

A todos os amigos que compartilharam das alegrias e angústias desta jornada, em especial Michelle Andreu, Marco Kato e Jemilli Viaggi.

Aos colegas do LEB, destacando Gabriel Panigai, Alexia Eisfeld e Eduardo Minsky por toda a ajuda e por fazerem as horas de trabalho passar mais rápido.

Ao professor Lázaro Laut e à sua *entourage* do Labmicro, pela excelente companhia nos congressos e nas muretas.

Às universidades que me proporcionaram a chance de cursar disciplinas externas, UFRJ, UFG, PUC-RJ, Universidade de Évora e a seus professores.

À Raíza Precinoto por ter compartilhado do meu desespero durante o curso de programação na UFG e ao João Braz por ter feito absolutamente tudo o que podia (inclusive me levar a um show da Gretchen) para transformar aquelas duas semanas em Goiânia.

À melhor dupla em trabalhos, Bruna Fernandes, pela sua calma durante um dos trabalhos mais estressantes desse mestrado.

A toda a minha “família eborense”, principalmente ao Hélder Machado e à Inês Maria, por terem feito com que me sentisse totalmente em casa durante os onze dias que passei em Évora.

Aos amigos não biólogos que me apoiaram nos últimos anos. Maria Fernanda Nogueira, Mariana Buarque, Bernardo Rocha e Gabriel Mendes. Obrigado pelas conversas de bar com comentários sempre afiados; pelas fugas da dieta em conjunto; por ser ao mesmo tempo tão igual e tão diferente de mim; e pelas viagens *off the beaten track*, respectivamente.

Ao doutor Henrique Rajão, por aceitar o convite para compor esta banca e pelo incentivo decisivo que me foi dado na minha defesa de monografia para que eu continuasse na academia.

Ao doutor Marcos Figueiredo, que em tão pouco tempo já se tornou parte indispensável do LEB, por participar da banca, por toda a ajuda e pelas risadas.

Ao doutor Bruno Carvalho, por aceitar o convite para a banca, e por, mesmo sem saber disso, ter tirado minhas dúvidas em fóruns *online* sobre o R.

Ao meu coorientador, Rafael da Rocha Fortes, por ter me apresentado à biogeografia e por todos esses anos de excelente convívio no LEB.

Finalmente, à minha querida orientadora, Maria Lucia Lorini, por todo o tempo e energia dedicados à minha formação nos últimos anos, pela amizade, pela confiança e principalmente pelo exemplo como pesquisadora e como pessoa.

*“It seems to me that  
we all look at Nature too much,  
and live with her too little.”*

Oscar Wilde, *De Profundis*

## RESUMO

As mudanças climáticas são uma parte da nossa realidade e seus efeitos são inescapáveis. De acordo com o relatório mais recente do Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) a influência humana é a causa dominante do aquecimento observado desde a metade do século XX. As estimativas sobre os efeitos do uso de combustível fóssil sugerem que a temperatura média global subirá entre 1,5 e 4,5°C antes do final do século XXI e que as emissões de CO<sub>2</sub> afetarão o clima por milhares de anos alterando as distribuições geográficas das espécies. O ambiente tropical será fortemente afetado por essas mudanças, e estudos sobre os impactos das alterações climáticas na biota desses ambientes ainda são escassos. Através da modelagem de distribuição geográfica das espécies, este trabalho analisará a previsão da futura distribuição geográfica das espécies do gênero *Hemitriccus*, endêmico da América do Sul, com espécies em diversos biomas. Os dados de ocorrência foram obtidos através de coleções científicas, da literatura e de bases de dados *online*. As variáveis climáticas do tempo presente foram retiradas do banco de dados *WorldClim*, e as referentes as previsões para 2050 (RCP 8.5) do IPCC. Para a modelagem preditiva da distribuição geográfica das espécies foram utilizados oito algoritmos independentes que trabalham com dados de presença, através da plataforma R. Para dezesseis espécies foram observadas perda de área adequada, sendo que para dez essa perda implicaria em agravamento do seu *status* de conservação. Uma análise mais detalhada foi feita para as espécies endêmicas da Mata Atlântica Brasileira, em função do alto índice de degradação e de fragmentação desse bioma. Foram calculadas as áreas adequadas que ainda contam com cobertura florestas e que são protegidas por Unidades de Conservação integral para cada espécie. Essa segunda análise indicou que três das cinco espécies analisadas devem ser negativamente afetadas pelas mudanças previstas. Espécies podem desenvolver quatro respostas às mudanças climáticas: dispersão, aclimação, adaptação e extirpação. As espécies analisadas neste estudo são aves de pequeno porte e não migratórias, de modo que a dispersão só pode ser considerada como possível em áreas adjacentes. A aclimação pode ser uma reação para áreas onde as alterações climáticas sejam brandas, e para adaptação não há tempo hábil para que haja adaptação genética. Dessa maneira, a resposta mais provável seria a extirpação das populações em áreas que deixarão de ser propícias ao desenvolvimento das espécies.

Palavras-chave: Modelos de Nicho Ecológico / Modelos de Distribuição de Espécies, Mudanças climáticas, Biogeografia, Conservação, América do Sul, Mata Atlântica, Aves

## ABSTRACT

Climate change is part of our reality and its effects are unavoidable. According to the last report by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), human influence is the main cause of the heating observed since mid 20<sup>th</sup> century. Projections about the effects of fossil fuel use suggest that the global mean temperature will rise from 1.5 to 4.5°C before the 21<sup>st</sup> century ends and that CO<sub>2</sub> emissions will affect climate for thousands of year changing species' geographical distribution. The tropical zone will be highly affected by these changes, and studies about climate change impacts on these areas' biota are still scarce. The present work will use Species Distribution Modelling (SDM) to predict the future geographic distribution of the species composing the South America endemic genus *Hemitriccus*, which is represented in different biomas across the continent. Occurrence data were collected from scientific collections, literature and online databases. Climatic variables for the present were downloaded from the database *WorldClim*, and those for 2050 (RCP 8.5) from IPCC. Eight independent algorithms that use presence data were used for the SDM, on the platform R. Sixteen species are predicted to lose suitable area in the future, and for ten of those it would also mean a worsening in their conservation status. A deeper analysis was conducted for the Brazilian Atlantic Forest endemic species, due to this biome's high degradation and fragmentation levels. Suitable and forested areas that are also protected by conservation units were calculated for each species. This second analysis has shown that three out of five species may be negatively impacted by the forecasted climate change. Species can develop four responses to climate change: dispersion, acclimation, adaptation and extirpation. The species analysed here are small non-migratory birds, so that dispersion is only possible towards neighbouring areas. Acclimation may be a response in areas where climatic variations are mild, whilst there is no available time for genetic adaptation. Therefore, the most likely response would be extirpation in areas that will no longer be suitable for these species to thrive.

Key words: Ecological Niche Models / Species Distribution Modelling, Climate Change, Biogeography, Conservation, South America, Atlantic Forest, Birds

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 1: Exposição das espécies do gênero *Hemitriccus* (Aves, Rhynchocyclidae) a mudanças climáticas futuras e impactos para a biogeografia e conservação**

**Figura 1.1:** Mapa da distribuição potencial das áreas climaticamente adequadas para *Hemitriccus diops* segundo os consensos dos diferentes algoritmos e modelos de circulação global (GCMs) na Extensão de Ocorrência (EOO) da espécie e entorno de 100 km. Em vermelho - áreas adequadas, em azul - áreas não adequadas.

**Figura 1.2:** **A:** Riqueza de *Hemitriccus* no presente. **B:** Riqueza de *Hemitriccus* em 2050. **C:** Diferença prevista de riqueza de *Hemitriccus*. **D:** Áreas em km<sup>2</sup> preditas por faixas de riqueza atual, futura e da variação entre ambos os momentos.

**Figura 1.3:** Anomalia globais de temperatura (A) e de precipitação (B) projetadas para a América do Sul em 2050 em relação ao período de referência (1961-1990).

### **CAPÍTULO 2: Exposição das espécies do gênero *Hemitriccus* (Aves, Rhynchocyclidae) da Mata Atlântica a mudanças climáticas futuras e adequabilidade nos remanescentes florestais e nas Unidades de Conservação**

**Figura 2.1:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus furcatus* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.

**Figura 2.2:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus kaempferi* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.

**Figura 2.3:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus mirandae* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.

**Figura 2.4:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus nidipendulus* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.

**Figura 2.5:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus orbitatus* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.

## APÊNDICE 2

**Figuras S2.1:** Pontos de ocorrência das espécies de *Hemitriccus*.

**Figuras S2.2:** Mapas das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para as espécies de *Hemitriccus* no presente e no futuro, nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente.

## APÊNDICE 3

**Figuras S3.1:** Comparação dos valores de altitude e latitude das áreas preditas como adequadas para as espécies de *Hemitriccus* entre o presente e 2050. A barra horizontal sólida representa a mediana, o símbolo redondos a média, os extremos das caixas os quartis e os *whiskers* o 1º e o 99º percentis.

**Figuras S3.2:** Porcentagens de registros de ocorrência das espécies por ecorregião.

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1: Exposição das espécies do gênero *Hemitriccus* (Aves, Rhynchocyclidae) a mudanças climáticas futuras e impactos para a biogeografia e conservação**

**Tabela 1.1:** Número de modelos (repetições) utilizados nos consensos finais, que foram posteriormente projetados para os três CGMs para 2050 e médias das estatísticas de avaliação dos modelos para cada espécie.

**Tabela 1.2:** Biomas onde se encontra a maior parte dos pontos de ocorrência das espécies, mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas para as espécies de *Hemitriccus* nas extensões de ocorrência (EOOs) conforme previsto pelos modelos de consenso e *status* de conservação.

**Tabela 1.3:** Performance dos modelos mudança de distribuição das áreas adequadas para as espécies de *Hemitriccus* no futuro. Os modelos foram classificados (Ranking) do melhor para o pior de acordo com o critério de informação de Akaike corrigido para pequenas amostras (AICc) e uma estimativa correspondente de log-verossimilhança (logLik) e peso de Akaike ( $w_i$ ; probabilidade de cada modelo ser o mais adequado).  $\Delta_i$  é a diferença entre o AICc de um determinado modelo com o menor valor de AICc obtido considerando todos os modelos.

### **CAPÍTULO 2: Exposição das espécies do gênero *Hemitriccus* (Aves, Rhynchocyclidae) da Mata Atlântica a mudanças climáticas futuras e adequabilidade nos remanescentes florestais e nas Unidades de Conservação**

**Tabela 2.1:** Áreas adequadas em intersecção com as EOOs das espécies; áreas adequadas e florestadas em intersecção com as EOOs das espécies; áreas adequadas e florestas em intersecção com as EOOs das espécies e com as UCs.

#### **APÊNDICE 1**

**Tabela S1.1:** Números de registros de ocorrência para cada espécie, de pontos rarefeitos e distância utilizada para a rarefação.

**Tabela S1.2:** Variáveis selecionadas para cada espécie e correlação máxima entre as mesmas.

**Tabelas S1.3:** Perfis ambientais das 21 espécies de *Hemitriccus* analisadas. Em destaque as variáveis que foram selecionadas para a modelagem.

**Tabela S1.4:** Intersecção de áreas entre os pares de espécies.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>3</b>
<i>Dados de ocorrência das espécies e variáveis ambientais.....</i>	<i>4</i>
<i>Modelagem de nicho ecológico.....</i>	<i>6</i>
<i>Análise de impactos potenciais ocasionados por mudanças climáticas.....</i>	<i>8</i>
<i>Análise dos determinantes das mudanças na distribuição das áreas adequadas.....</i>	<i>9</i>
<i>Análise espacial dos padrões de distribuição das áreas adequadas para as espécies..</i>	<i>10</i>
<b>Resultados.....</b>	<b>10</b>
<b>Discussão.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>21</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>21</b>
<b>Materiais e Métodos.....</b>	<b>23</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>23</b>
<b>Discussão.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>
<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>44</b>
<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE 3.....</b>	<b>82</b>

# **CAPÍTULO 1: EXPOSIÇÃO DAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HEMITRICCUS* (AVES, RHYNCHOCYCLIDAE) A MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS E IMPACTOS PARA A BIOGEOGRAFIA E CONSERVAÇÃO**

## **INTRODUÇÃO**

As mudanças climáticas são agora uma parte da nossa realidade e seus efeitos são inescapáveis. Os resultados do Vº Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) apontam com muita clareza que a influência humana tem sido a causa dominante do aquecimento observado desde a metade do século XX (IPCC 2013). As estimativas sobre os efeitos do uso de combustível fóssil sugerem que a temperatura média global subirá entre 1,5 e 4,5°C antes do final do século XXI e que as emissões de CO<sub>2</sub> afetarão o clima por milhares de anos (IPCC 2013). Embora comprovadamente o clima tenha sofrido grandes alterações em escalas de tempo geológicas (Schaefer *et al.* 2009), refletindo em grandes modificações na biosfera, a taxa de mudanças climáticas futuras será sem precedentes na história da Terra, o que provavelmente representará uma ameaça crítica para a biota (Hannah 2011). De fato, há evidências de que as mudanças climáticas ocorridas no século XX já ocasionaram vários impactos sobre a biodiversidade, associados principalmente a modificações na fenologia e distribuição geográfica das espécies (Parmesan 2006). Há previsões indicando que 15 a 37% de todas as espécies terrestres estarão ameaçadas de extinção até 2050 (Thomas *et al.* 2004). As mudanças climáticas representam uma das maiores ameaças globais à biodiversidade (Pereira *et al.* 2010, Dawson *et al.* 2011, Bellard *et al.* 2012), sendo especialmente perniciosas por serem ubíquas, com impactos também em áreas pristinas (Loarie *et al.* 2009, Monzón *et al.* 2011). Os múltiplos componentes das mudanças climáticas podem afetar todos os níveis de organização da biodiversidade, desde o nível de genes até o de biomas (Parmesan 2006, Bellard *et al.* 2012).

Para avaliar a vulnerabilidade e propor estratégias de conservação que possam antecipar os impactos destas mudanças e minimizar potenciais perdas da biodiversidade, torna-se crucial um melhor entendimento de como as espécies responderão às mudanças climáticas (Moritz & Agudo 2013). A vulnerabilidade de uma espécie às mudanças climáticas tem três dimensões: exposição (extensão das alterações climáticas a que a espécie será exposta), sensibilidade (o quanto a persistência da espécie depende do clima) e capacidade de adaptação (habilidade da espécie para adaptação/aclimatação *in situ* ou migração para locais mais adequados) (Dawson *et al.* 2011). Entre as características biológicas que aumentam a sensibilidade e diminuem a capacidade de adaptação estão, respectivamente, a especialização de habitat e a baixa habilidade de dispersão (Foden *et al.*

2013). Espécies com tais características e alta exposição provavelmente serão as mais vulneráveis.

Em função das mudanças climáticas, as espécies podem deixar de estar adaptadas às condições ambientais em uma dada região, ficando, portanto, fora de seu nicho climático. Buscando persistir, os indivíduos, as populações ou as espécies devem desenvolver respostas às mudanças climáticas, através de plasticidade fenotípica ou resposta evolutiva (Hannah 2011). Para lidar com as novas condições climáticas, as espécies podem responder com mudanças em três eixos: no espaço (mudança para locais com condições adequadas), no tempo (mudança de ritmos e fenologia) e em suas próprias características biológicas (mudança de características fisiológicas) (Parmesan 2006, Bellard *et al.* 2012).

Os Modelos de Nicho Ecológico (*Ecologic Niche Models – ENMs*) / Modelos de Distribuição de Espécies (*Species Distribution Models – SDMs*) constituem a abordagem mais utilizada para identificar mudanças na adequabilidade ambiental e avaliar a exposição e magnitude de respostas biológicas às mudanças climáticas (Peterson *et al.* 2011, Russo *et al.* 2016). Apesar das limitações de suas ferramentas, é inegável a contribuição dessas abordagens de modelagem para o entendimento dos efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade (Araújo *et al.* 2011). Esses modelos correlativos relacionam a ocorrência atual da espécie a variáveis climáticas e, definem o seu nicho climático, possibilitando projetá-lo em diferentes cenários e, desse modo, identificar a distribuição potencial do espaço climático adequado para a espécie no futuro (Bellard *et al.* 2012). Estudos de redistribuição em climas futuros representam mais de um quarto da produção de artigos envolvendo aplicações de ENMs/SDMs para espécies ameaçadas (Alexandre *et al.* 2013).

A investigação dos impactos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade constitui um dos grandes desafios da ciência da conservação nas próximas décadas (Pettorelli 2012). Apesar das aplicações de ENM/SDM em mudanças climáticas serem muito difundidas, existem poucos estudos envolvendo a biota sulamericana (Vale *et al.* 2009), os quais em geral apontam para a redução da distribuição geográfica das espécies em cenários futuros (*e.g.* Souza *et al.* 2011, Loyola *et al.* 2012, Ramirez-Villegas *et al.* 2014). Do ponto de vista da conservação, este trabalho é dirigido a avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre as espécies de *Hemitriccus* (Aves, Rhyncocyclidae), analisando a sua vulnerabilidade com ênfase na dimensão da exposição e buscando produzir informações para o planejamento de ações de conservação para estas aves, que devido à especialização de habitat associada à baixa habilidade de dispersão são propensas a serem vulneráveis às mudanças climáticas. Do ponto de vista científico o estudo é inovador porque adota abordagens recentes dentro de um *hot field* em ecologia, a Modelagem de Nicho Ecológico/Distribuição de Espécies (Peterson *et al.* 2011), integrando ENM/SDM em abordagem de consenso (*ensemble forecasting*) com análises espaciais para avaliar se as mudanças climáticas

futuras podem impactar as espécies de *Hemitriccus* e afetar o risco de extinção e os padrões biogeográficos atuais das espécies alvo.

Todas as 22 espécies desse gênero são endêmicas da América do Sul, sendo a maioria delas encontrada nos Andes e no Brasil (del Hoyo *et al.* 2014). Cinco espécies (~22%) estão globalmente ameaçadas de extinção, das quais três são endêmicas do Brasil, país onde ocorrem 18 espécies do gênero. Os *Hemitriccus* são pequenas aves territorialistas, monogâmicas, não migratórias, que habitam o interior de florestas e não possuem boa capacidade de dispersão (Cohn-Haft 2000).

No presente estudo foram avaliadas as seguintes questões: (i) as mudanças climáticas futuras irão alterar a distribuição das áreas atualmente preditas como adequadas para as espécies alvo? (ii) quais são os fatores que mais influenciam estas possíveis alterações? (iii) o *status* de conservação das espécies será alterado em função da disponibilidade de áreas climaticamente adequadas no futuro? (iv) como os padrões de riqueza do gênero e de sobreposição espacial entre as espécies serão afetados pelas mudanças climáticas?

Especificamente, foram testadas as seguintes hipóteses (e previsões):

1. As mudanças climáticas afetam a distribuição futura de áreas adequadas para as espécies.
2. A maioria das espécies perde área adequada no futuro.
3. As poucas espécies que ganham área adequada no futuro são aquelas amplamente distribuídas no presente.
4. As mudanças climáticas afetam o status de conservação das espécies, com aumento da categoria de risco para boa parte das espécies.
5. A amplitude da tolerância ambiental das espécies, o tamanho da sua Extensão de Ocorrência e a exposição de sua EOO em termos de mudanças na temperatura e precipitação futuras todos têm influência nas mudanças da área adequada no futuro.
6. As mudanças climáticas afetam o padrão de riqueza futura, com diminuição das áreas de alta riqueza de espécies.
7. As mudanças climáticas afetam o padrão biogeográfico das espécies, diminuindo a sobreposição espacial das espécies no futuro.
8. A distribuição futura de áreas adequadas para as espécies tenderá a deslocar-se para áreas de maior altitude e latitude.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste estudo foram gerados modelos de nicho ecológico para mapear as distribuições das

áreas climaticamente adequadas para as espécies no presente, e estes modelos foram projetados para 2050 para mapear as áreas climaticamente adequadas no cenário futuro. A abordagem implementada aqui foi desenvolvida para avaliar os prováveis impactos das mudanças climáticas sobre as espécies-alvo em 2050 e compreende as seguintes quatro etapas: (1) montagem do banco de dados de ocorrência das espécies e das variáveis ambientais; (2) modelagem de nicho ecológico das espécies; (3) análise dos impactos potenciais das mudanças climáticas projetadas; (4) análise dos determinantes das mudanças na distribuição das áreas adequadas; e (5) análise espacial dos padrões de distribuição das áreas adequadas para as espécies.

#### *Dados de ocorrência das espécies e variáveis ambientais*

Informações referentes à ocorrência das 22 espécies do gênero *Hemitriccus* foram levantadas a partir de coleções científicas, buscas na literatura e nas seguintes bases de dados online: *Global Biodiversity Information Facility* (<http://www.gbif.org>), Centro de Referência em Informação Ambiental – Species Link (<http://splink.cria.org.br>), BirdLife (<http://www.birdlife.org/datazone/home>) e WikiAves (<http://www.wikiaves.com>). Os dados compilados foram filtrados para eliminar registros duvidosos em termos taxonômicos ou de localização.

Os dados de ocorrência coletados foram classificados de acordo com o seu grau de confiabilidade taxonômica em duas classes. Àqueles oriundos de dados de ornitólogos e de coleções científicas, bem como da literatura foi conferida a categoria 1 (precisão alta), por serem considerados os mais fidedignos em relação à taxonomia. Os registros provenientes de bases de dados *online* foram considerados de média ou baixa confiabilidade (2 ou 3), de acordo com a fonte declarada para o registro. Por exemplo, dos dados obtidos no *WikiAves*, por se tratar de uma plataforma livre, apenas aqueles com peso de ID maior que 9 ([http://www.wikiaves.com/wikiaves:peso\\_de\\_id](http://www.wikiaves.com/wikiaves:peso_de_id)) foram atribuídos à categoria 2 (precisão média). Por fim, apenas os dados de categorias 1 e 2 foram utilizados, de modo a se garantir a correta identificação taxonômica da espécie.

Registros de ocorrência com localização imprecisa podem resultar em covariáveis no local registrado que são diferentes daquelas existentes no local verdadeiro. Este tipo de erro na localização pode afetar os resultados dos modelos, resultando em predição enviesada e/ou de menor acurácia (Hefley *et al.* 2014). Para reduzir erros derivados da incerteza de posicionamento geográfico dos registros de ocorrência, os dados coletados foram categorizados em três classes de acordo com o seu grau de precisão espacial. Àqueles cujas coordenadas geográficas referem-se ao

ponto de registro e que foram obtidas diretamente da referência foi conferida a categoria 1 (precisão alta). Aos dados cujas coordenadas geográficas foram aproximadas a partir da descrição da localidade de registro foram atribuídas as categorias 1 (precisão alta), 2 (precisão média) ou 3 (precisão baixa), de acordo com o tamanho da área da qual se conheciam as coordenadas para todas as bases. A georreferência das localidades foi conferida e/ou atribuída com a ajuda de *gazeteers* impressos e eletrônicos. Sempre que possível, produtos cartográficos e de sensoriamento remoto foram utilizados para conferir o posicionamento, buscando diminuir a incerteza da localização. As informações sobre a localidade, quando não eram informadas as coordenadas, consistiam no nome de fazendas, Unidades de Conservação (UCs), Reservas Particular do Patrimônio Natural (RPPNs), distrito ou do município onde foi feito o registro. Dessa forma, para estes casos foram obtidas as coordenadas centrais das áreas, classificando os pontos de acordo com a extensão dessas áreas: área  $\leq 25 \text{ km}^2$  = categoria 1,  $25 \text{ km}^2 < \text{área} \leq 100 \text{ km}^2$  = categoria 2, área  $> 100 \text{ km}^2$  = categoria 3. Para as espécies que dispunham de dados de alta confiabilidade bem distribuídos ao longo da sua extensão de ocorrência disponibilizada pela IUCN, foram descartados os dados de qualidade inferior (categorias 2 e 3). Para aquelas que não dispunham de registros suficientes, considerando que o *grid* utilizado para a modelagem conta com células de aproximadamente 5x5 km ao nível do Equador, foram aceitos também dados de precisão média (categoria 2), desde que estivessem em área florestada de acordo com verificação individual dos pontos pelo *software* Google Earth.

Ao final do processo, foram reunidos 2021 registros de ocorrência com georreferência única para as 22 espécies de *Hemitriccus* (Tab. S1.1, Apêndice 1; Fig. 2.1, Apêndice 2). Foram selecionadas para a modelagem as espécies que reuniram dez ou mais registros. *Hemitriccus cohnhafti*, com apenas sete localidades de ocorrência, foi excluída das análises. A partir desses registros foram extraídos os valores das variáveis ambientais nos locais de ocorrência para elaborar os perfis ambientais das espécies. Foram examinadas 20 variáveis ambientais obtidas na base de dados *WorldClim* (<http://worldclim.org>), sendo 19 bioclimáticas e uma topográfica, a altitude, do Modelo Digital de Elevação (DEM), compilado a partir dos dados da missão do ônibus espacial de topografia por radar (*Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*). Os registros foram também utilizados para se calcular a proporção de ocorrência das espécies nas diferentes ecorregiões onde foram observadas, de modo a categorizá-las em termos de endemismo de acordo com a macrorregião onde se encontra a maior parte dos pontos. A espécie foi considerada endêmica quando mais de 80% dos registros de ocorrência localizaram-se dentro dos limites da macrorregião, com base nos limites das ecorregiões terrestres (Olson *et al.* 2001).

A fim de se reduzirem possíveis problemas associados a viés amostral e autocorrelação espacial, os pontos de ocorrência foram rarefeitos utilizando o *software* R 3.3.2 (R Development Core Team 2008, <https://www.r-project.org/>) através do pacote “spThin” (Aiello-Lammens *et al.*

2015). Contudo, a rarefação foi realizada apenas para as espécies com mais de 34 pontos compilados para que fossem mantidos ao menos 30 pontos para treino ao se fazerem as partições para a modelagem, pois amostras menores podem comprometer a consistência das predições (Wisz *et al.* 2008). A distância utilizada para a rarefação foi 50 km, à exceção das espécies que passariam a ter menos de 34 pontos, para as quais foram utilizadas distâncias menores. Foram assim selecionados 931 registros de ocorrência para as 21 espécies (Tab. S1.1, Apêndice 1).

As variáveis utilizadas para modelar a distribuição potencial das áreas climaticamente adequadas para cada espécie foram selecionadas a partir de um conjunto de 19 variáveis bioclimáticas disponíveis (Hijmans *et al.* 2005). A seleção foi baseada na redução da colinearidade dentre as variáveis do conjunto original, selecionando apenas aquelas que, em uma análise par a par, são menos correlacionadas. A correlação máxima aceita foi de  $|0,7|$ , respeitando uma relação mínima de cinco pontos de ocorrência por variável para as espécies com 20 registros ou mais, e mantendo entre quatro e oito variáveis para cada espécie. Dentre os pares de variáveis que apresentaram correlação maior do que o limiar definido para a espécie, foi mantida aquela com menor fator de inflação de variância (VIF) utilizando o pacote “usdm” (Naimi 2015) no *software* R (Tab. S1.2, Apêndice 1). Os dados climáticos utilizados para o presente foram gerados a partir de dados provenientes de estações meteorológicas em escala global do período entre 1950 e 2000 (Hijmans *et al.* 2005) e obtidos na base de dados *WorldClim*. As projeções climáticas referentes ao futuro foram obtidas a partir dos dados da Quinta Avaliação das Mudanças do Clima do Painel Intergovernamental – AR5 (IPCC 2013). Optou-se por utilizar a trajetória denominada Caminho Representativo de Concentração 8.5 (*Representative Concentration Pathways – RCP 8.5*) e três Modelos de Circulação Global (*Global Circulation Models – GCMs*): CCSM4, HadGEM e MIROC. O cenário RCP 8.5 conhecido como “*business as usual*”, supõe alto crescimento populacional, crescimento econômico relativamente lento, mudanças modestas na tecnologia e melhorias na intensidade energética, resultando em altas emissões de gases do efeito estufa e demanda por energia combinadas com poucas alterações nas políticas de mudanças climáticas.

A partir das variáveis de temperatura média anual e precipitação acumulada anual foram calculadas e mapeadas as anomalias globais da temperatura e da precipitação, isto é, a diferença em nível de pixel entre a grandeza meteorológica em 2050 em relação ao período de referência (1961-1990). Estas operações foram realizadas através de álgebra de mapas no *software* ArcGIS 10.4.

### *Modelagem de nicho ecológico*

A predição da distribuição das áreas climaticamente adequadas para as espécies de

*Hemitriccus* foi realizada através de modelos de nicho ecológico. Os resultados deste tipo de modelagem podem variar consideravelmente de acordo com os algoritmos adotados (Thuiller 2004, Lawler *et al.* 2006, Pearson *et al.* 2006, Diniz-Filho 2009, Buisson *et al.* 2010). Portanto, foi adotada a abordagem de modelagem de consenso (*ensemble forecasting*, Araújo & New 2007), que combina os resultados de distintos algoritmos em um único modelo.

Foram definidas como extensões dos modelos para cada espécie a área combinada das ecorregiões onde há registros de sua ocorrência, acrescida de um *buffer* de 100 km (Barve *et al.* 2011). A modelagem preditiva de distribuição das áreas climaticamente adequadas foi desenvolvida utilizando oito algoritmos que representam distintas abordagens de modelagem, conforme recomendam as diretrizes da IUCN (IUCN 2014). Três algoritmos são estatísticos (GAM, GLM e MARS), dois de classificação (FDA e CART) e três baseados em aprendizagem de máquina (BRT, MAXENT e SVM) (Franklin 2009, Grenouillet *et al.* 2011, Rangel & Loyola 2012). Um dos algoritmos usa dados de presença e *background* (MAXENT), e os demais usam dados de presença e pseudo-ausência. Foram gerados aleatoriamente 10.000 pontos de *background* para cada espécie, abrangendo toda a extensão dos modelos excluindo-se as células com presenças detectadas (Phillips & Dudík 2008, Merow *et al.* 2014). Para se definir a melhor razão entre dados de pseudo-ausência e de presença, foi feita uma análise de sensibilidade rodando os modelos com diferentes proporções entre ambos os conjuntos de dados: 1/1, 10/1, 100/1 e 1.000/1. Foi então definida a razão de dez pseudo-ausências por registro de presença, que foram geradas aleatoriamente na extensão do modelo à exceção das áreas até 100 km distantes dos pontos de presença (Barbet-Massin *et al.* 2012).

Em todos os algoritmos foram utilizadas as implementações contidas no pacote do R “sdm” (Naimi & Araújo 2016). Para cada algoritmo foram realizadas dez repetições, utilizando a abordagem de validação cruzada, com dez partições dos dados de presença (nove para treino e uma para teste). As estatísticas de desempenho calculadas foram a especificidade, a sensibilidade, a habilidade estatística verdadeira (em inglês *True Skill Statistics* - TSS) e a área sob a curva do operador receptor (em inglês *Area Under the ROC Curve* – AUC). A AUC independe de limiar, enquanto para as demais estatísticas foi utilizada a maximização da soma da especificidade e da sensibilidade (*maximum training sensitivity plus specificity*) (Liu *et al.* 2005, 2013). A especificidade e a sensibilidade variam de 0 a 1 e indicam, respectivamente, as probabilidades do modelo classificar corretamente uma ausência e uma presença, quantificando os erros comissão (falsa-ausência) e de omissão (falsa-presença). A TSS varia de -1 a 1, e é obtida pela fórmula “especificidade + sensibilidade – 1”, com valores positivos indicando modelos melhores do que resultados aleatórios (Allouche *et al.* 2006), modelos com  $TSS < 0,4$  são considerados predições ruins,  $0,4 \leq TSS \leq 0,8$ , úteis, e  $TSS > 0,8$ , de boas a excelentes (Zhang *et al.* 2015). A AUC varia de

0 a 1, sendo que o valor 0,5 indica desempenho igual ao de um modelo gerado de forma aleatória, e valores acima de 0,5 indicam modelos melhores do que resultados aleatórios. Modelos com  $AUC \geq 0,8$  são considerados predições boas a excelentes (Swets 1988, Lobo *et al.* 2008, Franklin 2009).

Ao todo foram produzidos 3200 modelos preditivos para cada espécie (dez repetições com dez partições de oito algoritmos no presente e para três GCMs em 2050), sendo selecionados para as análises subseqüentes aqueles com  $TSS \geq 0,7$ . Posteriormente, cada modelo foi transformado em um mapa binário, usando como limite de corte o limiar que maximiza a soma da sensibilidade e especificidade do modelo (*maximum training sensitivity plus specificity*) (Liu *et al.* 2005, 2013). A partir do valor do limiar, cada modelo contínuo foi reclassificado em 0 (não adequado) ou 1 (adequado). Para produzir predições mais robustas e reduzir a variabilidade do modelo associada aos métodos de modelagem preditiva (Araújo & New 2007, Marmion *et al.* 2009, Diniz-Filho *et al.* 2010, Loyola *et al.* 2012), um modelo de consenso foi produzido para cada espécie, combinando os mapas binários dos modelos e conferindo aos mesmos um peso igual ao seu valor individual de TSS (Poulos *et al.* 2011). Os mapas finais foram produzidos usando a regra do consenso da maioria, considerando como adequados os pixels com valor igual ou maior à metade da soma dos valores de TSS dos modelos utilizados. Para evitar distorções no cálculo das áreas climaticamente adequadas, os modelos foram convertidos para a Projeção Cônica Equivalente de Albers. Todas essas operações de geração dos *ensembles* foram realizadas no R 3.3.2.

#### *Análise de impactos potenciais ocasionados por mudanças climáticas*

As espécies de *Hemitriccus* são aves de pequeno porte, territorialistas, não migratórias, limitadas principalmente ao interior de florestas primárias e que não possuem grande capacidade de dispersão (Cohn-Haft 2000). Assim sendo, a análise para inferir como os impactos das mudanças climáticas afetariam a distribuição potencial das áreas adequadas para as espécies alvo foi realizada com base no pressuposto de dispersão limitada. Sob esse pressuposto, a área analisada resultou da intersecção entre o modelo gerado para o presente e para 2050 e o polígono de Extensão de Ocorrência (EOO) de cada espécie. A EOO foi delimitada pelo método do Mínimo Polígono Convexo, gerado a partir de todos os registros de ocorrência da espécie (IUCN 2014) acrescido de um *buffer* de 100 km. Os polígonos de EOO foram gerados no ArcGIS 10.4.1.

Na avaliação dos potenciais efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição predita de áreas climaticamente adequadas foi adotada a abordagem de análise em nível de pixel (Hu *et al.* 2010, Hu & Jiang 2011). Foram assim calculadas as extensões das áreas adequadas potenciais no presente e no futuro, das que são adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis), das

áreas que são adequadas no presente, porém não adequadas em 2050 (áreas perdidas) e das áreas que não são adequadas no presente, porém passam a sê-lo em 2050 (áreas ganhas). Para avaliar a variação da distribuição potencial foi somada a perda de área adequada potencial no futuro (*range loss* - RL) por pixel e relacionou-se esse valor com a área adequada potencial no presente (*current range* - CR) por pixel. Em seguida, atribuiu-se a cada espécie alvo uma categoria de ameaça com base na mudança da disponibilidade de habitat adequado entre o presente e o futuro (2050). Em consonância com as diretrizes associadas ao critério A3(c) da Lista Vermelha da IUCN, que é baseado na redução de população projetada para o futuro em termos de redução em Área de Ocupação, Extensão de Ocorrência e/ou qualidade de habitat (IUCN 2014), utilizou-se a redução da área climaticamente adequada predita para o futuro e os seguintes limiares para atribuir a categoria de ameaça: Extinto (EX) - espécies com uma redução de 100% de área adequada nas projeções para o futuro; Criticamente Em Perigo (CR) - redução de > 80%; Em Perigo (EN) - redução de > 50% e Vulnerável (VU) - redução de > 30%. Estimou-se o risco de extinção com base no pressuposto de dispersão limitada, onde a redução de área adequada foi calculada através da perda de área adequada (*range loss* - RL) (Hu & Jiang 2011). Apesar dessa abordagem relativa à Lista Vermelha da IUCN ser bastante simplista, uma vez que considera apenas os efeitos estáticos das possíveis mudanças climáticas, ainda assim pode fornecer uma visão sintética de ameaças espécie-específicas relacionadas às mudanças climáticas (Thuiller *et al.* 2006, Hu & Jiang 2011).

#### *Análise dos determinantes das mudanças na distribuição das áreas adequadas*

Para compreender quais fatores foram mais determinantes para a mudança de distribuição das áreas adequadas para as espécies de *Hemitriccus* no futuro (variável dependente) foram elaborados modelos lineares generalizados com as 21 espécies analisando todas as combinações possíveis entre sete fatores (variáveis independentes): (1 e 2) o desvio padrão da temperatura média anual (DPTemp) e da precipitação acumulada (DPPPT) nos pontos de ocorrência das espécies; (3 e 4) a anomalia entre os valores da temperatura média anual presente e futura (AnomTemp) e da precipitação acumulada no presente e de 2050 (AnomPPT) em 5000 pontos aleatórios distribuídos em toda a área das EOs das espécies; (5 e 6) os desvios padrões das anomalias da temperatura (DPAnomTemp) e da precipitação (AnomPPT); e (7) a área das EOs (MPC).

As correlações entre todas as variáveis foram testadas a fim de se excluir aquelas que apresentassem forte correlação evitando assim colinearidade. A correlação máxima entre essas variáveis foi de 0,5, de modo que nenhuma precisou ser excluída. Com base nas combinações das variáveis foram obtidos 127 modelos representando as diferentes hipóteses relacionando variáveis à

tendência de ganho ou perda de área em função das mudanças climáticas. Além destes 127 modelos foi incluído um modelo (NULO), que não contém qualquer variável preditora, sendo formado apenas pelo intercepto do modelo, para avaliar se os padrões poderiam ter surgido ao acaso. Foi utilizada uma abordagem baseada em critério de informação Akaike (AIC) para selecionar os modelos com melhor ajuste aos dados (Burnham & Anderson 2002). Essa abordagem compara um grande número de modelos de uma única vez, identificando o mais simples e que fornece o melhor ajuste aos dados simultaneamente (Johnson & Omland 2004).

Foram selecionados os modelos que apresentavam bom suporte empírico ( $\Delta < 3$ ), enquanto que modelos com  $\Delta > 10$  não tem suporte empírico, podendo ser desconsiderados (Burnham & Anderson, 2002). Foram calculados também os pesos de Akaike ( $w_i$ ) de cada modelo, que podem ser interpretados como a probabilidade de que o modelo seja realmente o melhor modelo explicativo. Esta abordagem costuma apresentar resultados robustos independentemente do método de controle de autocorrelação utilizado (Diniz-Filho *et al.* 2008). As regressões e o cálculo dos valores de AIC foram executados na plataforma R 3.3.2.

#### *Análise espacial dos padrões de distribuição das áreas adequadas para as espécies*

Devido às variações de distribuição das áreas adequadas em função das mudanças climáticas, é esperada uma alteração no padrão de riqueza ao longo do continente sul-americano, bem como na sobreposição da distribuição potencial das espécies analisadas. Visando compreender esses padrões, foram realizadas análises adicionais. Para visualizar a variação da riqueza, foram produzidos mapas a partir da soma dos modelos binários de todas as espécies no presente e no futuro e, posteriormente, calculou-se a diferença entre ambos (Souza *et al.* 2011). A fim de avaliar a mudança na sobreposição entre as espécies, a coocorrência de áreas adequadas para as espécies foi calculada par a par, em nível de pixel, a partir dos *ensembles* binários atuais e de 2050. Para examinar as tendências de resposta às mudanças climáticas nos gradientes altitudinal e latitudinal, foram extraídos os valores de elevação e de latitude das células indicadas como adequadas nos *ensembles* presente e futuro de cada espécie e calculadas as médias, medianas, valores máximos e mínimos utilizando o *software* R (Hu & Liu 2014).

## **RESULTADOS**

O resultado das assinaturas ambientais extraídas dos registros de ocorrência das espécies de

*Hemitriccus* sobre todas as variáveis descritoras do ambiente descrevem perfis consideravelmente distintos (Tab. S1.3, Apêndice 1). O gênero apresenta desde espécies que ocorrem em áreas de baixa altitude, como *H. kaempferi* (média  $74,63 \pm 149,96\text{m}$ ) até espécies em áreas de elevação acentuada, como *H. granadensis* (média  $2.178,19 \pm 710,01\text{m}$ ). A temperatura média anual e a precipitação acumulada anual também apresentaram variação relevante: para *H. granadensis* observam-se as temperaturas mais baixas (média  $16,3 \pm 3,77^\circ\text{C}$ ) e para *H. inornatus* as mais altas (média  $26,9 \pm 0,35^\circ\text{C}$ ); *H. margaritaceiventer* é a espécie mais associada a regiões secas (média  $1.128,96 \pm 447,64\text{mm}$ ) e *H. zosterops* a regiões mais úmidas (média  $2.630,26 \pm 631,17\text{mm}$ ) (Fig. S3.1, Apêndice 3).

De acordo com as ecorregiões onde foi feita a maioria dos registros para cada espécie (Fig. S3.2, Apêndice 3), 16 foram identificadas como endêmicas de quatro macrorregiões: sete da Mata Atlântica, quatro dos Andes, três da Amazônia Oriental e duas da Amazônia Ocidental. As outras cinco espécies foram identificadas como amplamente distribuídas (generalistas) em relação às macrorregiões, por terem registros de ocorrência distribuídos por distintas regiões (Tab. 1.2).

Os algoritmos utilizados produziram ao todo 9445 modelos satisfatórios ( $\text{TSS} \geq 0,7$ ) para as 21 espécies (Tab. 1.1), de modo que os demais modelos foram eliminados dos *ensembles*. De um modo geral, os modelos selecionados para a análise final das espécies apresentaram ótimo desempenho (médias:  $\text{TSS} = 0,86$ ,  $\text{AUC} = 0,93$ , sensibilidade = 0,97 e especificidade = 0,89).

**Tabela 1.1:** Número de modelos (repetições) utilizados nos consensos finais, que foram posteriormente projetados para os três CGMs para 2050 e médias das estatísticas de avaliação dos modelos para cada espécie.

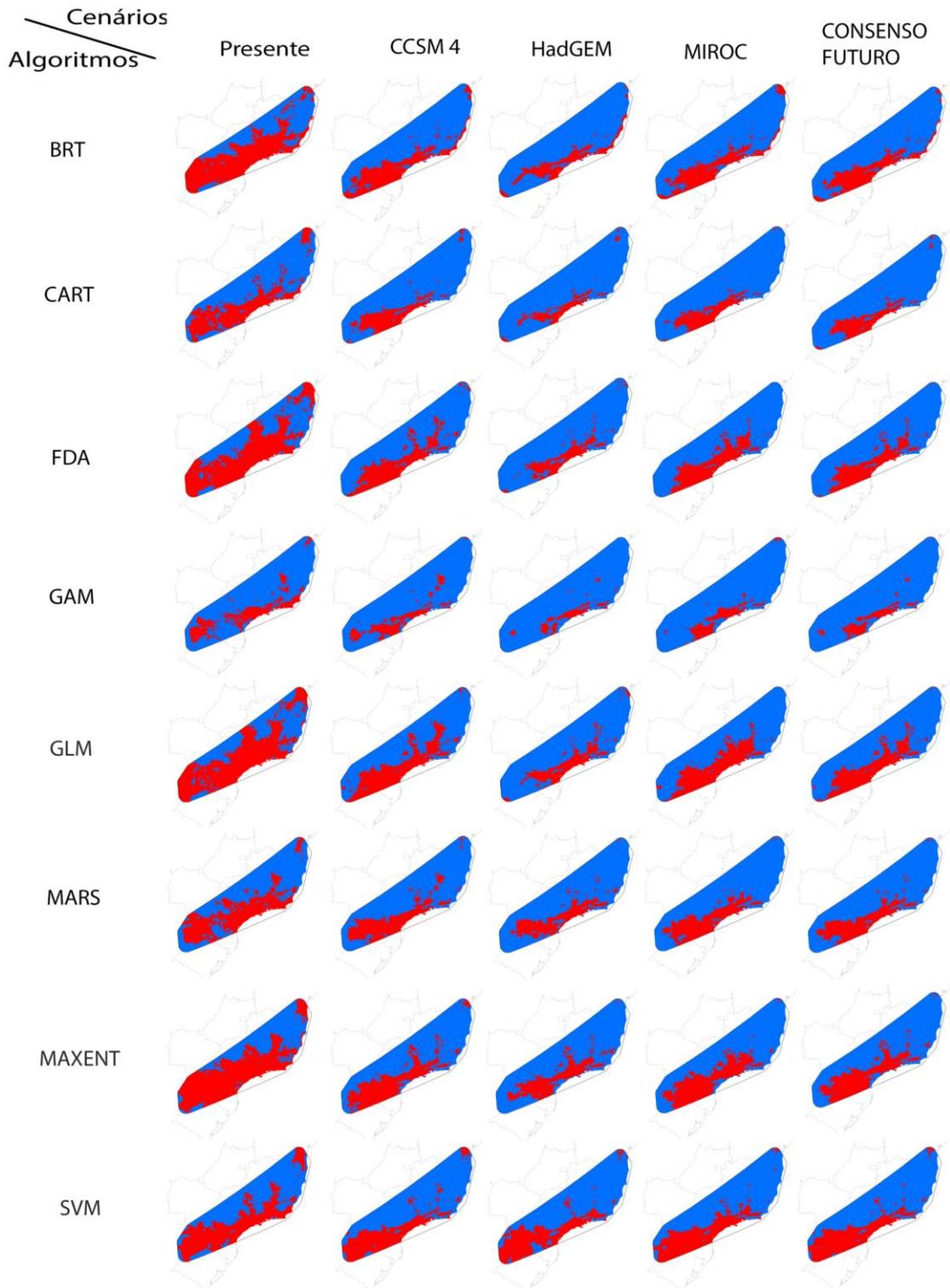
Espécies	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
<i>Hemitriccus cinnamomeipectus</i>	582	0,96	0,97	1,00	0,96
<i>Hemitriccus diops</i>	649	0,89	0,94	0,99	0,90
<i>Hemitriccus flammulatus</i>	470	0,84	0,93	0,95	0,88
<i>Hemitriccus furcatus</i>	598	0,90	0,95	0,98	0,92
<i>Hemitriccus granadensis</i>	567	0,85	0,93	0,93	0,92
<i>Hemitriccus griseipectus</i>	321	0,80	0,90	0,90	0,90
<i>Hemitriccus inornatus</i>	516	0,93	0,95	1,00	0,93
<i>Hemitriccus iohannis</i>	388	0,85	0,93	0,98	0,87
<i>Hemitriccus josephinae</i>	377	0,86	0,89	1,00	0,86
<i>Hemitriccus kaempferi</i>	701	0,97	0,98	1,00	0,97
<i>Hemitriccus margaritaceiventer</i>	74	0,73	0,90	0,90	0,82
<i>Hemitriccus minimus</i>	172	0,82	0,90	0,98	0,83
<i>Hemitriccus minor</i>	307	0,83	0,91	0,98	0,85
<i>Hemitriccus mirandae</i>	638	0,96	0,98	1,00	0,96
<i>Hemitriccus nidipendulus</i>	653	0,92	0,96	0,99	0,93
<i>Hemitriccus obsoletus</i>	726	0,92	0,96	0,99	0,92
<i>Hemitriccus orbitatus</i>	638	0,92	0,96	0,98	0,94
<i>Hemitriccus rufigularis</i>	464	0,87	0,93	0,99	0,88
<i>Hemitriccus spodiops</i>	427	0,86	0,91	0,98	0,89
<i>Hemitriccus striaticollis</i>	39	0,75	0,87	0,93	0,82
<i>Hemitriccus zosterops</i>	138	0,76	0,87	0,93	0,83

Os resultados produzidos pelos diferentes algoritmos variaram, sendo que a concordância entre os modelos não foi a mesma para todas as espécies. Entretanto, certos algoritmos apresentaram tendências gerais: CART, GAM e MARS geraram majoritariamente previsões mais restritas de áreas adequadas, divergindo de FDA, GLM e SVM, que tenderam a apresentar previsões mais expandidas. BRT e MAXENT não apresentaram um padrão. Os diferentes GCMs apresentaram também um padrão geral, com CCSM4 e MIROC produzindo modelos menos restritos do que HadGEM2, como exemplificado na Figura 1.1.

Nos mapas gerados pelos modelos de consenso final, para todas as espécies foram observadas mudanças na distribuição da adequabilidade em 2050. Dezesseis espécies apresentaram previsões de perda em áreas climaticamente adequadas e cinco apresentaram previsões de ganho. Das espécies para as quais as áreas adequadas devem ser reduzidas, duas perdem mais de 80% de suas áreas atuais, sendo classificadas como CR; seis perdem entre 50 e 80% – EN; três entre 30 e 50% – VU; para as outras cinco espécies, perdas inferiores a 30% são previstas, de modo que suas categorias de ameaça não são influenciadas pelas perdas de *range* calculadas. Para as espécies da Mata Atlântica, à exceção de *H. kaempferi*, são previstas perdas em áreas, assim como para as do oeste da Amazônia e as andinas. As espécies do leste da Amazônia e as consideradas generalistas não apresentaram um padrão (Tab. 1.2; Fig. S2.2, Apêndice 2).

**Tabela 1.2:** Biomias onde se encontra a maior parte dos pontos de ocorrência das espécies, mudanças, perdas e ganhos em áreas climaticamente adequadas para as espécies de *Hemitriccus* nas extensões de ocorrência (EOOs) conforme predito pelos modelos de consenso e *status* de conservação.

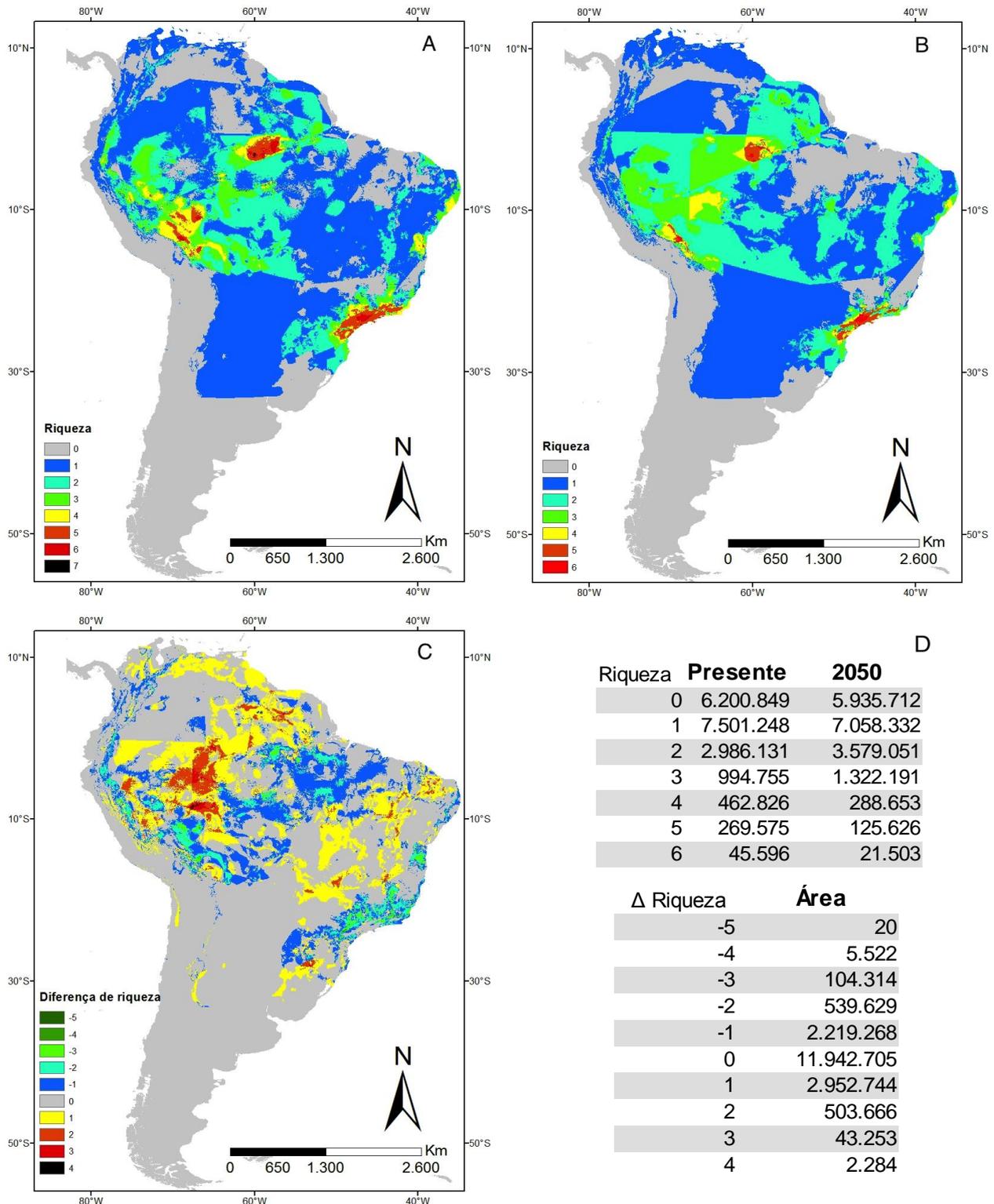
Espécie	Macro-região	Áreas presente (km <sup>2</sup> )	Áreas futuro (km <sup>2</sup> )	Perda (%)	Ganho (%)	Estável (%)	Mudança (%)	Status atual	Status indicado
<i>H. cinnamomeipectus</i>	Andes	29.997,7	4.097,5	26.091,9 (87,0)	191,7 (0,6)	3.905,8 (13,0)	-86,34	VU	CR
<i>H. diops</i>	Mata Atlântica	684.094,0	296.320,8	399.865,9 (58,5)	12.092,7 (1,8)	284.228,1 (41,6)	-56,68	LC	EN
<i>H. flammulatus</i>	Oeste da Amazônia	941.547,5	178.691,3	815.518,9 (86,6)	52.662,7 (5,6)	126.028,6 (13,4)	-81,02	LC	CR
<i>H. furcatus</i>	Mata Atlântica	131.216,4	83.256,0	51.490,9 (39,2)	3.530,5 (2,7)	79.725,5 (60,8)	-36,55	VU	VU
<i>H. granadensis</i>	Andes	543.118,8	365.726,2	222.726,3 (41,0)	45.333,6 (8,4)	320.392,5 (59,0)	-32,66	LC	VU
<i>H. griseipectus</i>	Generalista	941.484,3	199.227,7	745.661,2 (79,2)	3.404,6 (0,4)	195.823,1 (20,8)	-78,84	LC	EN
<i>H. inornatus</i>	Leste da Amazônia	170.504,8	154.581,7	78.403,1 (46,0)	62.480,0 (36,6)	92.101,7 (54,0)	-9,34	LC	LC
<i>H. iohannis</i>	Oeste da Amazônia	629.269,0	172.932,5	460.376,0 (73,2)	4.039,5 (0,6)	168.893,0 (26,8)	-72,52	LC	EN
<i>H. josephinae</i>	Leste da Amazônia	580.539,3	908.605,0	0,0 (0,0)	328.065,7 (56,5)	580.539,3 (100,0)	56,51	LC	LC
<i>H. kaempferi</i>	Mata Atlântica	21.069,0	28.020,6	0,0 (0,0)	6.951,5 (32,4)	21.069,0 (100,0)	32,99	EN	EN
<i>H. margaritaceiventer</i>	Generalista	3.914.051,9	6.071.275,0	95.750,9 (2,5)	2.252.974,0 (57,6)	3.818.301,0 (97,6)	55,11	LC	LC
<i>H. minimus</i>	Generalista	1.636.857,7	2.741.594,0	408.075,7 (24,9)	1.512.812,0 (92,4)	1.228.782,0 (75,1)	67,49	LC	LC
<i>H. minor</i>	Leste da Amazônia	1.298.648,7	1.058.699,3	574.213,4 (44,2)	334.264,0 (25,7)	724.435,3 (55,8)	-18,48	LC	LC
<i>H. mirandae</i>	Mata Atlântica	82.476,0	29.260,9	53.215,0 (64,5)	0,0 (0,0)	29.260,9 (35,5)	-64,52	VU	EN
<i>H. nidipendulus</i>	Mata Atlântica	422.269,8	201.953,3	220.629,1 (52,3)	312,6 (0,1)	201.640,7 (47,8)	-52,17	LC	EN
<i>H. obsoletus</i>	Mata Atlântica	406.235,5	274.185,4	138.825,5 (34,2)	6.775,4 (1,7)	267.410,0 (65,8)	-32,51	LC	VU
<i>H. orbitatus</i>	Mata Atlântica	346.613,1	288.606,7	75.482,5 (21,8)	17.476,1 (5,0)	271.130,6 (78,2)	-16,74	NT	NT
<i>H. rufigularis</i>	Andes	296.458,4	83.701,2	219.783,9 (74,1)	7.026,8 (2,4)	76.674,5 (25,9)	-71,77	NT	EN
<i>H. spodiops</i>	Andes	88.518,5	87.191,1	20.049,9 (22,7)	18.722,6 (21,2)	68.468,6 (77,4)	-1,50	LC	LC
<i>H. stritacollis</i>	Generalista	3.598.844,5	3.402.125,1	729.958,5 (20,3)	533.239,1 (14,8)	2.868.886,0 (79,7)	-5,47	LC	LC
<i>H. zosterops</i>	Generalista	2.489.732,1	3.008.468,6	203.474,1 (8,2)	722.210,6 (29,0)	2.286.258,0 (91,8)	20,84	LC	LC



**Figura 1.1:** Mapa da distribuição potencial das áreas climaticamente adequadas para *Hemitriccus diops* segundo os consensos dos diferentes algoritmos e modelos de circulação global (GCMs) na Extensão de Ocorrência (EOO) da espécie e entorno de 100 km. Em vermelho - áreas adequadas, em azul - áreas não adequadas.

As mudanças na distribuição das espécies de *Hemitriccus* causam uma alteração nos padrões de riqueza do gênero ao longo da América do Sul. Tanto no presente quanto em 2050 as áreas em que se observa maior riqueza são a Mata Atlântica, a Amazônia central a parte da região andina,

embora as regiões identificadas como *hotspots* (com 5 a 7 espécies) sejam mais restritas no cenário futuro. A variação na riqueza entre as previsões para ambos os momentos apresenta uma tendência à redução ao longo de toda a Mata Atlântica, na porção oriental da Amazônia e nos Andes. A Amazônia ocidental, a Caatinga, o cerrado e as Savanas do norte do continente, por sua vez, apresentam padrão inverso, com previsão de aumento de riqueza (Fig. 1.2).



**Figura 1.2:** A: Riqueza de *Hemitriccus* no presente. B: Riqueza de *Hemitriccus* em 2050. C: Diferença prevista de riqueza de *Hemitriccus*. D: Áreas em km<sup>2</sup> preditas por faixas de riqueza atual, futura e da variação entre ambos os momentos.

Na análise de quais fatores foram mais determinantes para a mudança de distribuição das áreas adequadas para as espécies de *Hemitriccus* no futuro, os resultados revelaram que sete dos 127 modelos apresentaram algum grau de plausibilidade ( $\Delta i \leq 4,00$ ) (Tabela 1.3). O melhor modelo ( $AICc = 218,76$ ;  $\Delta AICc = 0,00$ ;  $\Delta i = 1,00$ ;  $w_i = 0,24$ ) foi o composto pelo desvio padrão da precipitação acumulada nos pontos de ocorrência das espécies (DPPPT) e pelo desvio padrão da anomalia da precipitação acumulada entre o presente e 2050 (DPAnomPPT). Outros seis modelos também apresentaram forte apoio empírico ( $\Delta i \leq 4,00$ ). O modelo nulo foi bem menos plausível que o melhor modelo ( $AICc = 225.83$ ;  $\Delta AICc = 7,07$ ;  $\Delta i = 0,01$ ;  $w_i = 0,01$ ). O desvio padrão da anomalia da precipitação acumulada entre o presente e 2050 (DPAnomPPT) (Fig. 1.3 B) esteve presente em todos os sete modelos plausíveis e o desvio padrão da precipitação acumulada nos pontos de ocorrência das espécies (DPPPT) esteve presente nos seis modelos mais plausíveis. Considerando apenas os sete modelos plausíveis, o peso de Akaike para estes dois fatores relacionados à precipitação alcançou, respectivamente,  $w_i = 0,55$  e  $0,54$ . Por outro lado, os demais fatores apresentaram pesos muito menores: AnomPPT (0,11), DPAnomTemp (0,06), MPC e AnomTemp (0,05), DPTemp (0,04).

**Tabela 1.3:** Performance dos modelos mudança de distribuição das áreas adequadas para as espécies de *Hemitriccus* no futuro. Os modelos foram classificados (Ranking) do melhor para o pior de acordo com o critério de informação de Akaike corrigido para pequenas amostras ( $AICc$ ) e uma estimativa correspondente de log-verossimilhança ( $\log Lik$ ) e peso de Akaike ( $w_i$ ; probabilidade de cada modelo ser o mais adequado).  $\Delta i$  é a diferença entre o  $AICc$  de um determinado modelo com o menor valor de  $AICc$  obtido considerando todos os modelos.

Modelos	Ranking	logLik	K	AICc	$\Delta AICc$	$\Delta i$	$w_i$
DPPPT+DPAnomPPT	1	-104.13	4	218.76	0.00	1.00	0.24
DPPPT+AnomPPT+DPAnomPPT	2	-103.75	5	221.51	2.74	0.25	0.06
DPPPT+DPAnomTemp+DPAnomPPT	3	-103.76	5	221.52	2.75	0.25	0.06
MPC+DPPPT+DPAnomPPT	4	-103.90	5	221.81	3.04	0.22	0.05
DPPPT+AnomTemp+DPAnomPPT	5	-103.92	5	221.84	3.07	0.22	0.05
DPTemp+DPPPT+DPAnomPPT	6	-104.12	5	222.24	3.47	0.18	0.04
DPAnomPPT	7	-107.53	3	222.48	3.71	0.16	0.04
Nulo	35	-110.58	2	225.83	7.07	0.01	0.01

DPPPT = Desvio padrão da precipitação acumulada nos pontos de ocorrência das espécies;

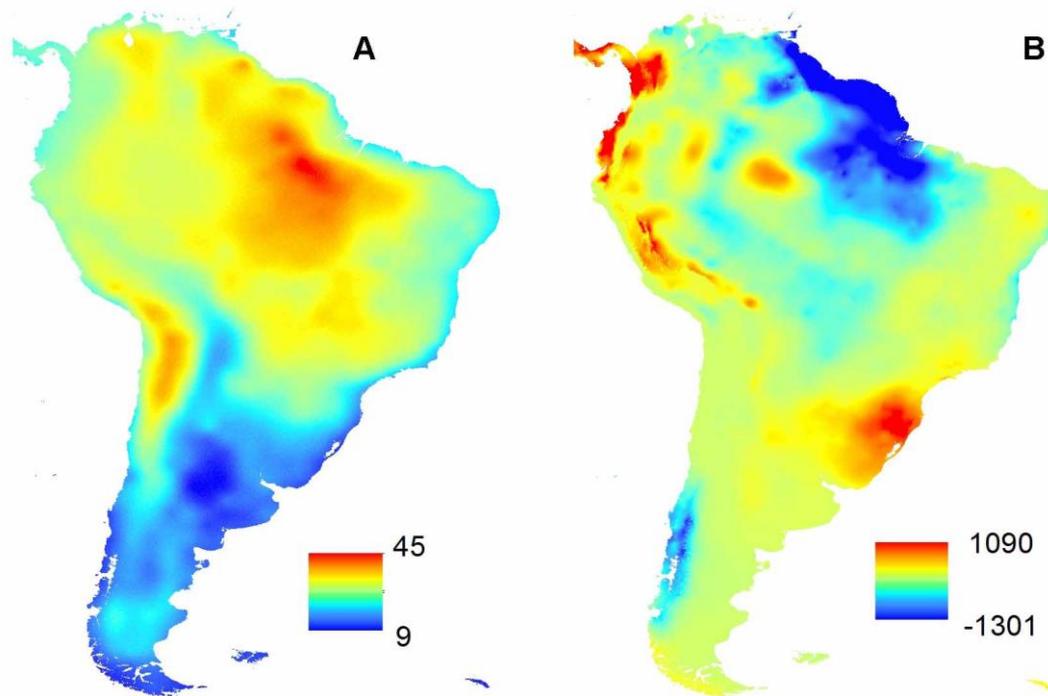
DPTemp = Desvio padrão da temperatura média anual nos pontos de ocorrência das espécies;

AnomPPT = Anomalia da precipitação acumulada entre o presente e 2050 em 5000 pontos aleatórios distribuídos em toda a área das EOs das espécies;

AnomTemp = Anomalia da temperatura média anual entre o presente e 2050 em 5000 pontos aleatórios distribuídos em toda a área das EOs das espécies;

DPAnomPPT = Desvio padrão da anomalia da precipitação acumulada entre o presente e 2050;

MPC = Mínimo Polígono Convexo delimitando a área de Extensão de Ocorrência (EO) das espécies.



**Figura 1.3:** Anomalia globais de temperatura (A) e de precipitação (B) projetadas para a América do Sul em 2050 em relação ao período de referência (1961-1990).

As análises referentes à sobreposição de espécies par a par indicaram que 92 pares de espécies apresentam áreas em comum no presente, e 85 em 2050, sendo que um dos pares que não apresenta sobreposição de área atualmente, passa a apresentar no futuro e oito pares deixam de apresentar sobreposição no futuro. Dos 93 pares que apresentam intersecção de áreas no presente e/ou no futuro, 72 têm previsão de redução na área sobreposta e 21 têm previsão de aumento (Tab. S1.4, Apêndice 1).

A avaliação das respostas às mudanças climáticas nos gradientes altitudinal e latitudinal revelou que quase todas as espécies apresentam uma tendência a ter maior adequabilidade de habitat em áreas de maior altitude e/ou latitude em 2050 (Apêndice 3). Das 21 espécies de *Hemitriccus*, apenas *H. rufigularis* apresenta a tendência contrária para latitude e três espécies (*H. iohannis*, *H. margaritaceiventris* e *H. minor*) apresentam a tendência contrária para altitude e latitude.

## DISCUSSÃO

Neste estudo foi avaliado o impacto de mudanças climáticas futuras sobre 21 espécies de aves endêmicas e ameaçadas da América do Sul, através de modelagem de adequabilidade climática

em abordagem de previsão de consenso (*ensemble forecasting*) e de análises espaciais em Sistema de Informação Geográfica. Corroborando as hipóteses 1, 2 e 4 propostas anteriormente, os resultados indicam que a maior parte das espécies de *Hemitriccus* podem perder parte considerável das áreas climaticamente adequadas dentro de sua extensão de ocorrência até 2050, com importantes consequências para o seu *status* de conservação, corroborando as tendências de contração de distribuição apontadas em outros estudos realizados sobre impactos das mudanças climáticas em escala global (Warren *et al.* 2013), e em especial para espécies endêmicas terrestres e de regiões tropicais (Miles *et al.* 2004, Hole *et al.* 2009, Souza *et al.* 2011, Loyola *et al.* 2012, Ramirez-Villegas *et al.* 2014). Essa projeção manteve-se mesmo sob diferentes combinações de métodos de modelagem utilizadas para gerar os modelos de distribuição preditiva.

As perdas e ganhos de áreas climaticamente adequadas têm sido amplamente avaliadas através da modelagem preditiva, contudo, existe uma preocupação crescente sobre a confiabilidade de tais previsões (Loiselle *et al.* 2003, Pearson *et al.* 2006, Marmion *et al.* 2009). Os maiores responsáveis pelas incertezas das previsões são os métodos de modelagem utilizados (Diniz-Filho *et al.* 2009, Buisson *et al.* 2010, Loyola *et al.* 2012). Muitas das diferenças entre as simulações derivadas de diferentes algoritmos são causadas pelas abordagens de cada algoritmo na extrapolação dos dados ao longo do gradiente ambiental (Pearson *et al.* 2006). Existem estudos que mostram a existência de um padrão entre os algoritmos e o tamanho da área de distribuição predita (*e.g.* Giovanelli *et al.* 2010). Nos resultados aqui obtidos também foi observada variação nos modelos produzidos, gerada sobretudo pelos diferentes algoritmos. Ainda que os algoritmos não tenham seguido um padrão estrito, alguns seguiram uma mesma tendência para a maior parte das espécies: CART, GAM e MARS produziram modelos mais restritos enquanto FDA, GLM e SVM se mostraram mais expansivos. BRT e MAXENT comportaram-se de formas distintas em função das espécies, não apresentando um padrão claro. Os três GCMs utilizados também divergiram quanto à restrição ou expansão das projeções, sendo HadGEM2, via de regra, mais restritivo do que CCSM4 e MIROC. As incertezas em torno das projeções dos distintos algoritmos de modelagem observadas neste estudo corroboram a ideia de que a adoção da modelagem de consenso (*ensemble forecasting*) é mais apropriada do que a modelagem baseada em um único método de modelagem (Araújo & New 2007). De fato, os métodos de consenso entre os algoritmos e GCMs podem aumentar significativamente a precisão das previsões de distribuição das áreas climaticamente adequadas para as espécies (Marmion *et al.* 2009, Diniz-Filho *et al.* 2009, 2010, Buisson *et al.* 2010). Ressalta-se que a robustez das previsões é especialmente importante em assuntos relativos à conservação da biodiversidade, pois tais incertezas podem interferir negativamente em esforços de conservação (Loyola *et al.* 2012). Adicionalmente, cabe salientar que as modelagens de distribuição potencial de áreas adequadas apenas levam em consideração as variáveis ambientais utilizadas

como preditores. Quaisquer outras influências bióticas como predação, competição, recurso alimentar, capacidade de dispersão e adaptabilidade não são levados em consideração. Isto é, os modelos predizem as áreas que possuem as condições ambientais adequadas para as espécies de *Hemitriccus*, mas não necessariamente que as espécies ocorrerão nessas áreas.

Os resultados dos modelos de consenso final apontam uma tendência de redução expressiva na distribuição das áreas climaticamente adequadas no futuro para grande parte das espécies analisadas, com algumas perdas superiores a 80% da distribuição atual, como previsto em outros estudos sobre impactos de mudanças climáticas em regiões tropicais (Siqueira & Peterson 2003, Anciães & Peterson 2006, Haddad *et al.* 2008, Colombo & Joly 2010, Souza *et al.* 2011, Loyola *et al.* 2012). Alterações na distribuição de aves já têm sido relacionadas a mudanças climáticas (Chen *et al.* 2011), sendo que tais alterações podem levar à extinção de centenas de espécies de aves (Crick 2004, Şekercioğlu *et al.* 2008).

Para as quatro espécies dos Andes foram previstas perdas em áreas adequadas. Contudo, para *H. spodiops* a redução prevista é de apenas 1,5%, não sendo portanto relevante. *H. granadensis*, *H. rufigularis* e *H. cinnamomeipectus*, por sua vez, podem sofrer reduções em áreas adequadas de cerca de 33, 72 e 86%, respectivamente. De acordo com o critério A3(c) da classificação de ameaça da IUCN (IUCN 2014), tais perdas agravariam o status de conservação das três espécies, subindo duas categorias de risco na escala da IUCN, ou seja, *H. granadensis* passaria de Pouco Preocupante (LC) para VU, *H. rufigularis* de Quase Ameaçada (NT) para EN e *H. cinnamomeipectus* de VU para CR. É importante ressaltar que as áreas preditas como adequadas no futuro estão concentradas em maiores altitudes do que no presente, em média 702, 599 e 490m para *H. granadensis*, *H. rufigularis* e *H. cinnamomeipectus*, nesta ordem. Essa tendência à restrição de hábitat às áreas mais elevadas em função das mudanças climáticas é condizente com estudos anteriores (Hussain *et al.* 2005, Moritz *et al.* 2008) levando à redução de áreas disponíveis (Elsen & Tingley 2015) e a disjunção de populações, comprometendo a variabilidade genética das espécies e aumentando ainda mais sua vulnerabilidade às mudanças globais (Kuhn *et al.* 2016).

A Mata Atlântica contabiliza sete espécies endêmicas de *Hemitriccus*, das quais seis devem perder áreas adequadas de acordo com as previsões deste estudo. A única espécie para a qual é previsto um aumento de adequabilidade climática, *H. kaempferi*, endêmica da região sul do bioma e é classificada como EN em função da sua EOO extremamente restrita. Portanto, a espécie deve ser beneficiada com o aumento das temperaturas médias, tendo um ganho na ordem de 33% em área adequada. *H. orbitatus* e *H. furcatus* são atualmente classificadas como NT e VU e, com perdas respectivas de cerca de 17 e 37%, permaneceriam nas mesma categorias. As demais espécies da Mata Atlântica, *H. mirandae*, *H. diops*, *H. nidipendulus* e *H. obsoletus* devem ter suas categorias de ameaça alteradas de VU, LC, LC e LC para EN, EN, EN e VU em função de perdas de 65, 57, 52 e

32%, respectivamente. De um modo geral, pode-se afirmar que as mudanças climáticas representam uma importante ameaça aos *Hemitriccus* da Mata Atlântica. Todavia, esse cenário torna-se ainda mais delicado ao se considerar o grau de degradação e de fragmentação de habitat desse bioma (Ribeiro *et al.* 2009).

Das espécies do leste da Amazônia, *H. inornatus* e *H. minor* devem sofrer reduções pouco expressivas em áreas adequadas (9 e 18%), mantendo portanto sua categoria de ameaça em LC. *H. josephinae* tende a ser beneficiada pelas mudanças climáticas, com ganhos de área de cerca de 57%. Já no oeste da Amazônia, as duas espécies endêmicas de *Hemitriccus* parecem sofrer uma pressão bastante mais intensa. *H. iohannis* e *H. flammulatus*, que são ambas classificadas como LC, devem perder cerca de 73 e 81% de seus *ranges*, sendo assim classificadas como EN e CR, respectivamente.

As cinco espécies generalistas, que ocorrem em diversas macro-regiões, são atualmente classificadas como LC. Dentre elas, apenas *H. griseipectus* tem sua categoria de ameaça alterada devido à perda de habitat, com redução prevista de 79% passaria a ser categorizada como EN, estando bastante próxima do limiar para ser classificada como CR. *H. striaticollis* tende a perder cerca de 5% ao passo que *H. zosterops*, *H. margaritaceiventer* e *H. minimus* devem ter suas áreas adequadas aumentadas em 21, 55 e 67% respectivamente.

De um modo geral, as espécies analisadas neste estudo, devem ser negativamente impactadas pelas mudanças climáticas. Corroborando a hipótese 3 proposta anteriormente, das cinco espécies para as quais são previstos ganhos de áreas, quatro são amplamente distribuídas no presente. Apenas *H. kaempferi* é endêmica e atualmente classificada como ameaçada.

No que se refere aos fatores determinantes da mudança nas áreas adequadas no futuro, a seleção de modelos demonstrou que os fatores mais influentes foram aqueles ligados à precipitação, com destaque para o desvio padrão da anomalia da precipitação acumulada entre o presente e 2050 (DPAnomPPT) e o desvio padrão da precipitação acumulada nos pontos de ocorrência das espécies (DPPPT). Estes resultados corroboram parcialmente a hipótese 5 anteriormente proposta, confirmando a importância da exposição da EOO a anomalias de precipitação e da amplitude de tolerância ambiental da espécie em termos de precipitação como influência para mudanças nas áreas adequadas no futuro. Contudo, os fatores relacionados à temperatura e ao tamanho da EOO das espécies não foram importantes preditores das mudanças nas áreas adequadas no futuro, o que contradiz parcialmente a hipótese 5.

Os resultados aqui obtidos das análises referentes à sobreposição de espécies par a par indicaram uma diminuição geral da sobreposição das espécies no futuro, corroborando a hipótese 7. Assim sendo, a contração da área climática adequada para a maioria das espécies poderá diminuir o contato entre as espécies, tornando o clima o fator limitante primário de suas distribuições

geográficas. Krosby e colaboradores (2015) chamou a atenção para o efeito potencial das mudanças climáticas para convergir a distribuição de áreas adequadas para espécies congêneres para as mesmas regiões geográficas, nas quais a hibridização e a competição interespecífica poderia ameaçar a persistência de uma ou ambas as espécies. Esta previsão não parece ser válida para *Hemitriccus*, porque os maiores impactos para este gênero são previstos a partir da redução da área climática adequada. Além disso, a redução de áreas adequadas e a perda de zonas de contacto poderão levar a espécies na direção da distribuição alopátrica. Portanto, além dos efeitos sobre a distribuição geográfica das espécies individuais, destacamos que a mudança climática pode afetar os padrões biogeográficos das espécies e alterar os fatores que predominantemente limitam suas distribuições.

Em relação às respostas das espécies às mudanças climáticas nos gradientes altitudinal e latitudinal, os resultados obtidos nesse estudo corroboraram a hipótese 8, confirmando as tendências gerais de que as áreas adequadas para as espécies migrarão predominantemente para altitudes e latitudes mais elevadas, o que já foi relatado para outros grupos e outras regiões (Mokhatla *et al.* 2015; Cunningham *et al.* 2016, Duan *et al.* 2016).

Em suma, apesar das incertezas, os resultados demonstraram que o impacto das mudanças climáticas é uma ameaça que não pode deixar de ser considerada em estratégias de conservação para as espécies do gênero *Hemitriccus* analisadas. Esse cenário reforça a necessidade de ações de conservação voltadas para proteger áreas climaticamente adequadas para as espécies alvo. Estudos de modelagem de nicho ecológico/distribuição de espécies são importante ferramenta para guiar os esforços de conservação, incluindo a manutenção, a criação e a mudança dos limites de áreas de conservação ambiental. Espera-se que a informação gerada a partir desta abordagem, tais como os resultados obtidos no presente estudo, possam contribuir para as estratégias de conservação das espécies estudadas, inclusive para o planejamento de ações de adaptação às mudanças climáticas.

## **CAPÍTULO 2: EXPOSIÇÃO DAS ESPÉCIES DO GÊNERO *HEMITRICCUS* (AVES, RHYNCHOCYCLIDAE) DA MATA ATLÂNTICA A MUDANÇAS CLIMÁTICAS FUTURAS E ADEQUABILIDADE NOS REMANESCENTES FLORESTAIS E NAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO**

### **INTRODUÇÃO**

A Mata Atlântica Brasileira, cujos níveis de riqueza de espécies e de endemismos estão entre os mais altos do mundo, é um dos biomas de maior prioridade global para conservação (Ribeiro *et al.* 2009, Jenkins *et al.* 2013). Ao mesmo tempo em que abriga uma parcela considerável da biota do planeta, quase 20.000 espécies de plantas, 263 mamíferos, 936 aves, 306 répteis e mais de 500 anfíbios (Mittermeier *et al.* 2005, Metzger 2009), a situação atual da Mata Atlântica Brasileira é alarmante, uma vez que aproximadamente 88% da sua cobertura original já foram perdidos. Dos cerca de 11% restantes, mais de 80% dos remanescentes são distribuídos em fragmentos de tamanho inferior a 50 ha e inseridos em áreas com elevada densidade populacional (Ribeiro *et al.* 2009). A fragmentação das florestas tropicais representa uma grande ameaça para a biodiversidade desses ecossistemas, pois as relações ecológicas animal-plantas são alteradas, influenciando o funcionamento do ecossistema (Tabarelli & Gascon 2005). Considerada um dos *hotspots* mais vulneráveis às mudanças globais (Schloss *et al.* 2012, Watson *et al.* 2013, Bellard *et al.* 2014) e um dos biomas mais ameaçados pela ação antrópica (Mittermeier *et al.* 2005), a Mata Atlântica apresenta muitas espécies já extintas ou ameaçadas de extinção (Jenkins *et al.* 2010), sendo que a porcentagem das espécies que se encontram ameaçadas nessa região ultrapassa 10%, chegando a cerca de 30% se forem considerados apenas os táxons endêmicos (Marini & Garcia 2005). Apesar da estarrecedora taxa de degradação do bioma e da sua excepcional riqueza em biodiversidade, apenas 9% das áreas remanescentes da Mata Atlântica Brasileira são protegidos por Unidades de Conservação de Proteção Integral (Silva *et al.* 2014), sendo que muitas dessas unidades são pequenas e não conectadas entre si (Rylands & Brandon 2005, Ribeiro *et al.* 2009).

Adicionalmente, as mudanças climáticas podem alterar a área de distribuição de espécies, por exemplo, causando o deslocamento de aves, mamíferos e outros animais para novas áreas com condições ideais para a sua sobrevivência, o que pode tornar a rede de unidades de conservação pouco eficiente (Hannah *et al.* 2005). No Brasil, estudos mostram que espécies de vários grupos taxonômicos perderão grande parte de sua área de distribuição geográfica devido às mudanças climáticas (*e.g.* Souza *et al.* 2011, Loyola *et al.* 2012, Loyola *et al.* 2014, Ferro *et al.* 2014). Essas mudanças de distribuição das espécies em resposta às mudanças climáticas terão consequências para o sucesso das unidades de conservação brasileiras no futuro (Ferro *et al.* 2014).

Para espécies neotropicais os estudos sobre os impactos das mudanças climáticas ainda são escassos (Vale *et al.* 2009), sendo a Mata Atlântica especialmente pouco estudada (Souza *et al.* 2011). Esse fato é surpreendente visto que o bioma apresenta fortes gradientes ambientais, inclusive climáticos, abrigando um grande número de espécies endêmicas de distribuição restrita e um grande contingente de espécies ameaçadas. Em termos de mudanças climáticas, de acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, as projeções climáticas futuras apontam dois regimes distintos na Mata Atlântica Brasileira (PBMC 2013). Para a porção nordeste do bioma as previsões para o final do século XXI indicam condições de aquecimento intenso, com aumento de 3 a 4,5°C em temperatura e diminuição da precipitação entre 30 e 35%. Já para a porção sul/sudeste as previsões indicam um aumento mais moderado de temperatura, entre 2,5 e 3°C, associado a um aumento de 25 a 30% na precipitação (PBMC 2013).

As espécies de *Hemitriccus* endêmicas da Mata Atlântica do Brasil são indicadas como fortemente ameaçadas pelas mudanças climáticas. Ademais, dos biomas que abrigam espécies do gênero, este é o mais ameaçado devido à perda de área e à fragmentação (Ribeiro *et al.* 2009). Dessa forma, o presente capítulo objetiva aprofundar as análises prévias realizadas no capítulo 1, a fim de compreender os impactos das mudanças climáticas futuras à luz da degradação do habitat para as espécies *H. furcatus*, *H. kaempferi*, *H. mirandae*, *H. nidipendulus* e *H. orbitatus*. A avaliação de vulnerabilidade às mudanças climáticas é uma ferramenta importante que pode guiar órgãos públicos e pesquisadores no planejamento de ações de conservação. A vulnerabilidade às mudanças climáticas tem três principais componentes: a sensibilidade, a exposição e a capacidade adaptativa (Glick *et al.* 2011, Dawson *et al.* 2011). A sensibilidade é a medida de quando ou como uma espécie, habitat ou ecossistema pode ser afetada pelas mudanças climáticas, tendo em vista que há espécies e ecossistemas mais sensíveis que outros. A exposição é uma medida da magnitude e frequência destas mudanças climáticas a que uma determinada espécie, habitat ou ecossistema estão expostos. Finalmente, a capacidade adaptativa é a capacidade de resposta de uma determinada espécie, habitat ou ecossistema de modo a minimizar os efeitos negativos das mudanças climáticas. Este estudo tem como objetivo avaliar a vulnerabilidade das cinco espécies *Hemitriccus* da Mata Atlântica, focando principalmente no componente de exposição da vulnerabilidade. Tenciona-se responder as seguintes questões: (i) qual é a extensão de habitat atualmente disponível para as espécies? (ii) como as mudanças climáticas alteram a adequabilidade climática nos remanescentes florestais para os *Hemitriccus* da Mata Atlântica? (iii) As Unidades de Conservação existentes serão capazes de reter áreas climaticamente adequadas para as espécies em 2050?

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os modelos de consenso finais binários das cinco espécies de *Hemitriccus* endêmicos da Mata Atlântica Brasileira, gerados de acordo com a metodologia detalhada no capítulo 1, foram recortados a partir do mapa de remanescentes florestais do ano base de 2014 (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE 2015), a fim de eliminar dos modelos preditivos as áreas transformadas para uso agropecuário e urbano. Considerando que as espécies de *Hemitriccus* são aves florestais (Cohn-Haft 2000), esse procedimento permitiu refinar os modelos binários finais, retirando as áreas que já não apresentam cobertura florestal e gerando assim os mapas de distribuição de áreas climaticamente adequadas para as espécies alvo no presente e em 2050. Como cenários futuros de mudança de uso do solo não estão disponíveis para a Mata Atlântica, bem como a tendência dos últimos anos tem sido de diminuição de desflorestamento (Fundação SOS Mata Atlântica & INPE 2015), foi assumido implicitamente que a cobertura vegetal atual da Mata Atlântica não sofrerá alterações significantes.

A fim de se compreender a eficácia das Unidades de Conservação (UC) atuais em proteger as espécies alvo, foram calculadas as porcentagens de áreas florestadas e climaticamente adequadas para as espécies alvo que se encontram dentro dos limites de UCs tanto para o presente quanto para 2050. Foi utilizada a base cartográfica das Unidades de Conservação do SNUC, disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>). Apenas foram analisadas as Unidades de Conservação de Proteção Integral. Todas as análises foram realizadas na plataforma R e os mapas finais gerados através do *software* ArcGis 10.4.1.

## RESULTADOS

### *Hemitriccus furcatus*

Considerando o modelo de consenso final em intersecção com a EOO da espécie, o total de áreas adequadas preditas no presente somou 131.216 km<sup>2</sup> e em 2050 somaram 83.256 km<sup>2</sup>. Já no modelo de consenso final em intersecção com as áreas florestadas existentes dentro da EOO da espécie, as áreas adequadas no presente somaram 24.043 km<sup>2</sup>, enquanto em 2050 somaram 18.785 km<sup>2</sup> (Fig. 2.1). Nas duas situações, os impactos causados pelas mudanças climáticas futuras revelados pela perda de área climaticamente adequada (*range loss* -RL) alcançaram 36,6% e 21,9%. Dessa maneira, de acordo com o critério A3(c) da União Internacional para Conservação da

Natureza (IUCN, 2014), o status de conservação da espécie não seria alterado se consideradas as áreas climaticamente adequadas e florestadas.

As unidades de conservação existentes dentro da EOO da espécie englobam 25% das áreas climaticamente adequadas e florestadas no presente, e 29% no futuro, correspondendo a 6070 km<sup>2</sup> e 5.513 km<sup>2</sup> (Tab. 2.1).

### *Hemitriccus kaempferi*

O modelo de consenso final para *Hemitriccus kaempferi* em intersecção com a EOO da espécie revelou 21.069 km<sup>2</sup> de áreas adequadas no presente e 28.021 km<sup>2</sup> em 2050. No presente, o modelo de consenso final em intersecção com as áreas florestadas existentes dentro da EOO da espécie somou 10.883 km<sup>2</sup> de áreas adequadas e em 2050 essa área somou 14.682 km<sup>2</sup> (Fig. 2.2). As mudanças climáticas futuras implicam em um substantivo ganho de área climaticamente adequada da ordem de 33% contabilizando todas as áreas adequadas e de 35% contabilizando as áreas adequadas e florestadas.

Aproximadamente um quinto das áreas florestadas e adequadas para a espécie é protegido por UCs, tanto no presente quanto em 2050 (Tab. 2.1).

### *Hemitriccus mirandae*

Para essa espécie, o modelo de consenso final em intersecção com a EOO da espécie, as áreas adequadas somaram 82.476 km<sup>2</sup> no presente e 29.261 km<sup>2</sup> em 2050 (Tab. 2.1). Já no modelo de consenso final em intersecção com as áreas florestadas existentes dentro da EOO da espécie, as áreas adequadas totalizaram 4.790 km<sup>2</sup> no presente e 2.495 km<sup>2</sup> em 2050 (Fig. 2.3). Os impactos causados pelas mudanças climáticas foram bastante expressivos na predição futura, sendo que a perda de área climaticamente adequada (*range loss - RL*) atingiu 65 e 48%, considerando todas as áreas adequadas e as áreas adequadas e florestadas, respectivamente. Nesse caso, seguindo o critério A3(c) da UICN (IUCN 2014) a espécie, que é listada como VU, deveria passar a ser categorizada como EN se considerada apenas a perda de áreas climaticamente adequadas, considerando-se também as áreas florestadas, mantém-se a categoria VU.

De todas as espécies endêmicas da Mata Atlântica Brasileira, *H. mirandae* é menos protegida por UCs com apenas 2% de suas áreas adequadas e florestadas contidas dentro de unidades de conservação integral e 3,2% em 2050 (Tab. 2.1).

### *Hemitriccus nidipendulus*

As áreas preditas como climaticamente adequadas contidas na EOO da espécie totalizaram 422.270 km<sup>2</sup> no presente e 201.953 km<sup>2</sup> em 2050. Ao se considerarem somente as áreas apresentando cobertura florestal, as respectivas superfícies são cerca de 63.181 km<sup>2</sup> e 38.270 km<sup>2</sup> (Fig. 2.4). Dessa maneira, seguindo o critério supracitado, a espécie que atualmente é categorizada como LC passaria à categoria EN, desconsiderando a cobertura florestal, e VU considerando-a.

Encontram-se dentro dos limites de UCs 20 e 24% das áreas florestada e climaticamente adequadas para a espécie no presente e no futuro, respectivamente (Tab. 2.1).

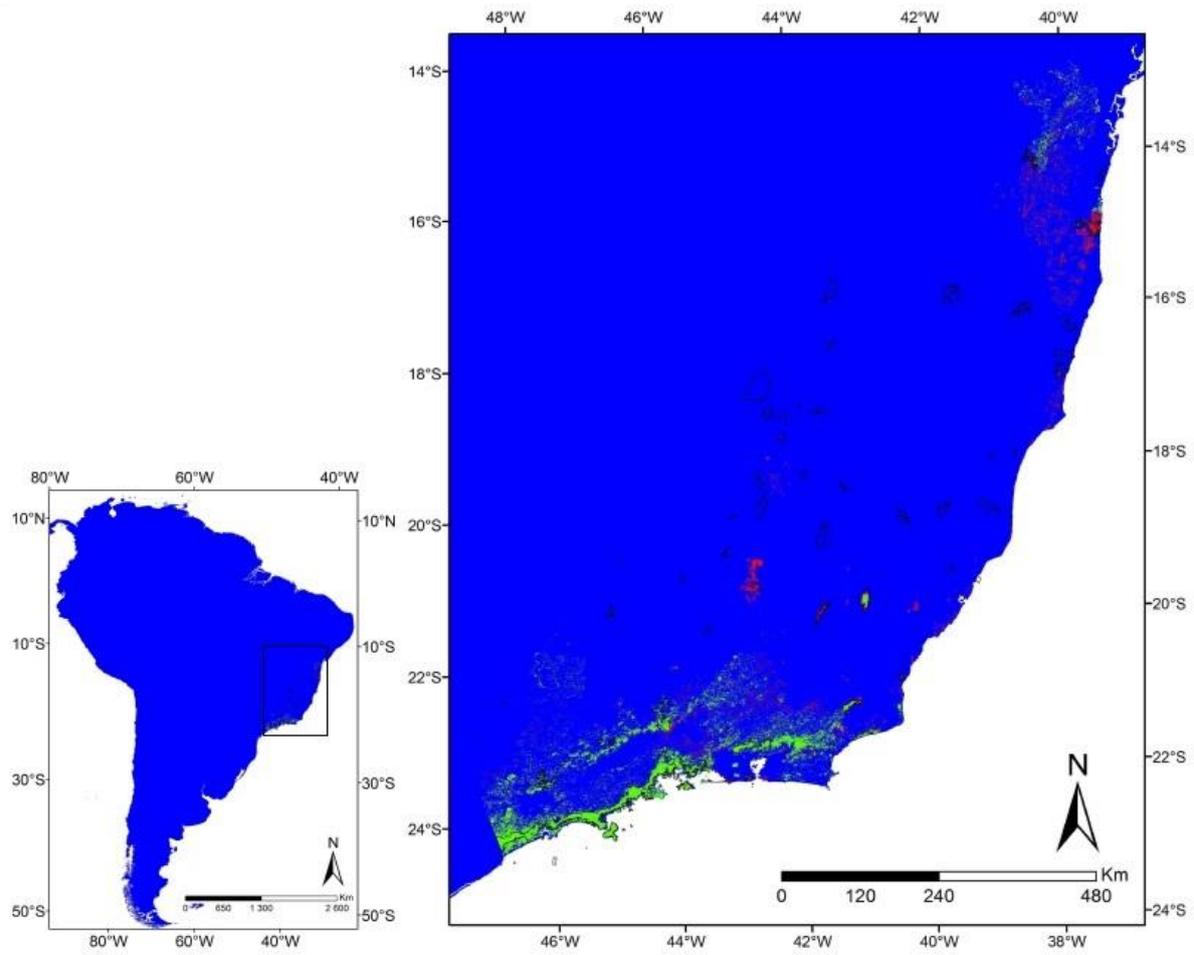
### *Hemitriccus orbitatus*

O modelos final em intersecção com a EOO da espécie indicou 346.613 km<sup>2</sup> em áreas adequadas para o presente e 288.607 km<sup>2</sup> em 2050. Considerando os remanescentes florestais, as áreas totalizaram 74.189 km<sup>2</sup> para o presente e 72.818 km<sup>2</sup> para o futuro (Fig. 2.5). *H. orbitatus* é atualmente classificado como NT, e a redução de área prevista é de cerca de 17% considerando apenas às áreas climaticamente adequadas em intersecção com a EOO e inferior a 2% considerando apenas as áreas florestadas, de modo que a categoria de ameaça não seria alterada em função da perda de habitat.

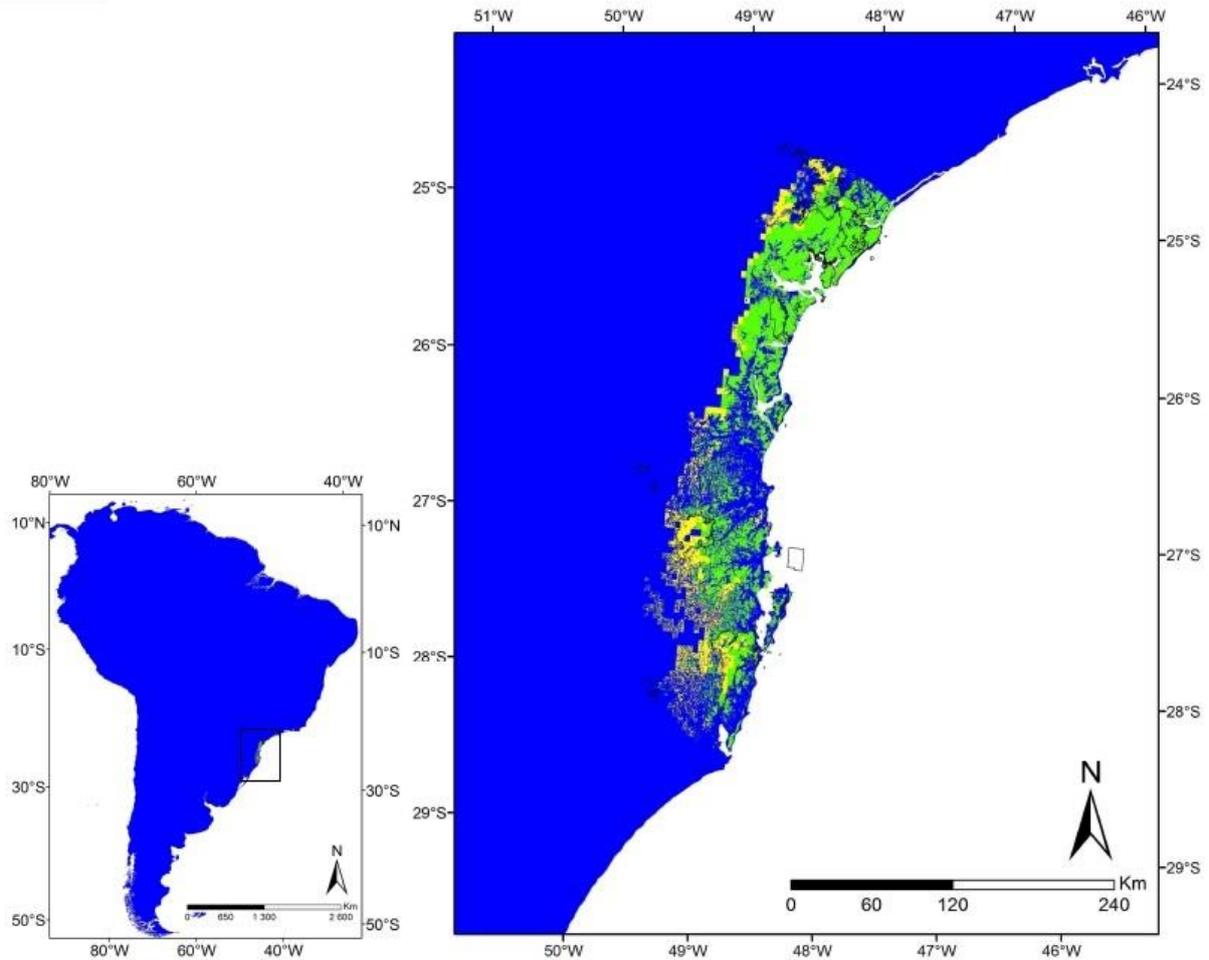
As UCs localizadas dentro da EOO da espécie englobam aproximadamente 17% das áreas florestadas e climaticamente adequadas para *H. orbitatus* tanto no presente quanto em 2050 (Tab. 2.1).

**Tabela 2.1:** Áreas adequadas em intersecção com as EOOs das espécies; áreas adequadas e florestadas em intersecção com as EOOs das espécies; áreas adequadas e florestas em intersecção com as EOOs das espécies e com as UCs.

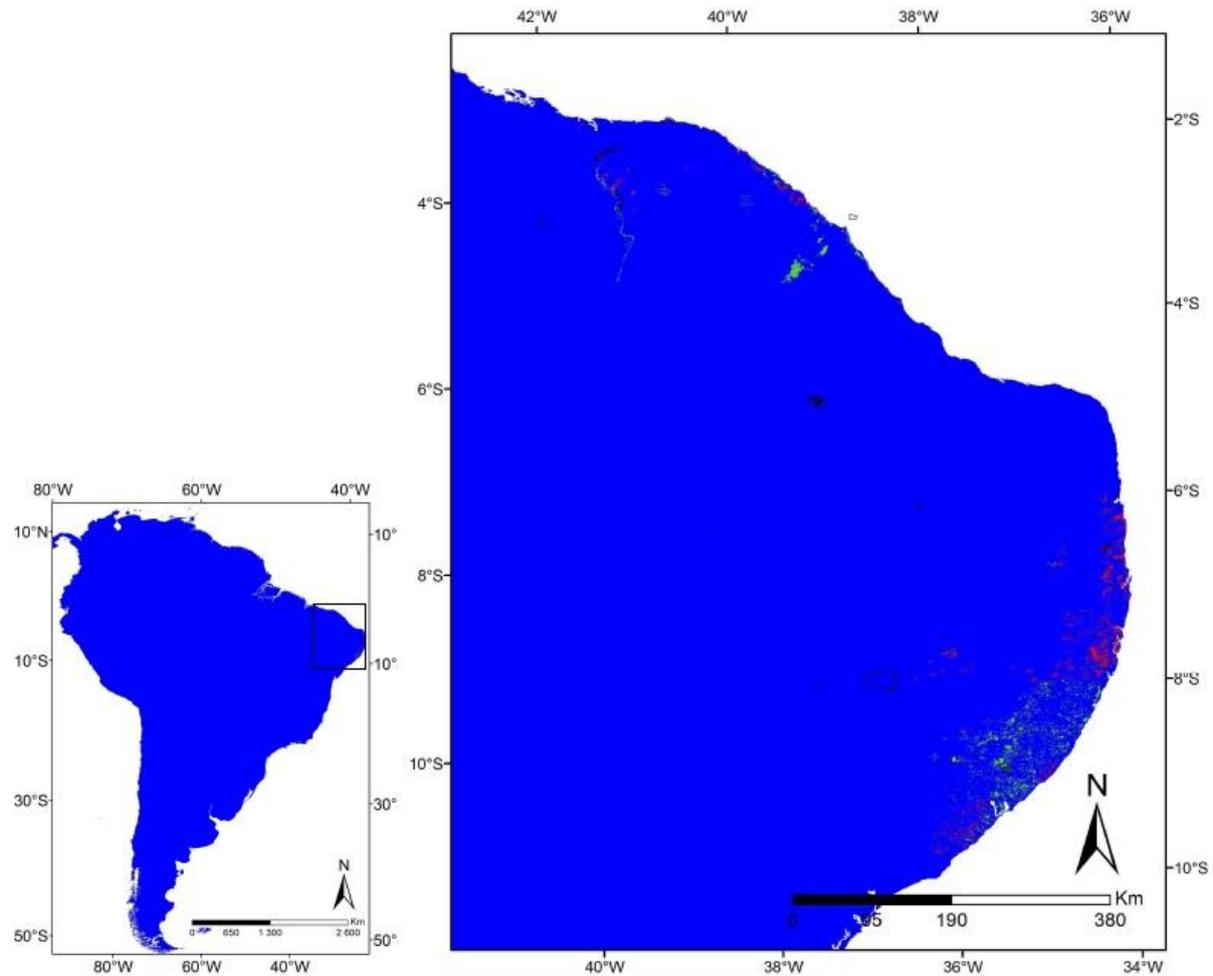
Espécies	Áreas (km <sup>2</sup> )			Áreas florestadas (km <sup>2</sup> )			Áreas florestadas e protegidas (km <sup>2</sup> )		
	Presente	Futuro	Diferença (%)	Presente	Futuro	Diferença (%)	Presente	Futuro	Diferença (%)
<i>H. furcatus</i>	131.216,40	83.256,00	-36,55	24.043,27	18.784,68	-21,87	6.070,41	5.513,40	-9,18
<i>H. kaempferi</i>	21.069,00	28.020,60	32,99	10.883,40	14.681,66	34,90	2.237,10	3.137,65	40,26
<i>H. mirandae</i>	82.476,00	29.260,90	-64,52	4.790,09	2.495,11	-47,91	100,00	80,26	-19,74
<i>H. nidipendulus</i>	422.269,80	201.953,30	-52,17	63.181,01	38.270,29	-39,43	12.541,87	9.213,96	-26,53
<i>H. orbitatus</i>	346.613,10	288.606,70	-16,74	74.189,03	72.818,32	-1,85	12.561,25	12.542,30	-0,15



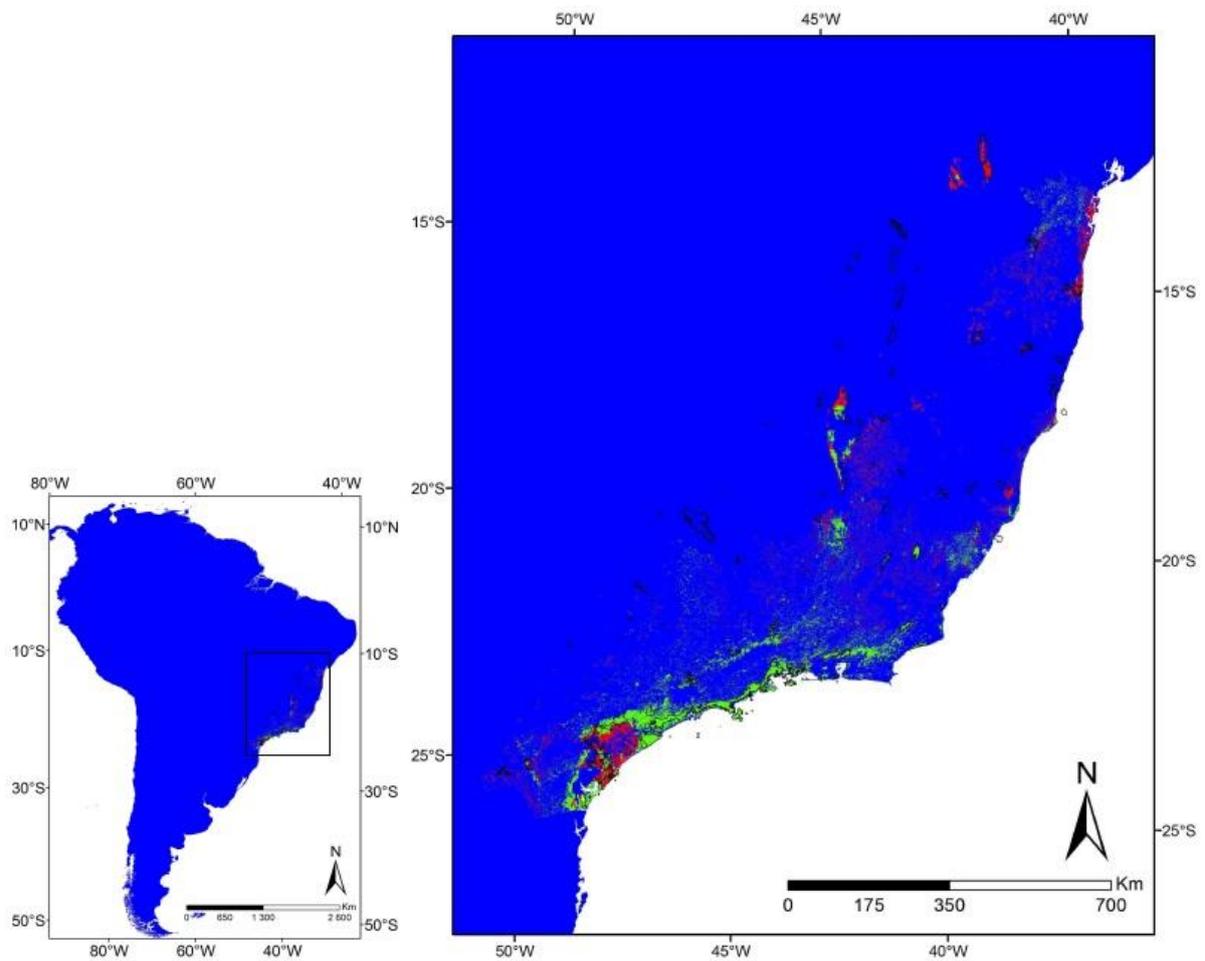
**Figura 2.1:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus furcatus* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.



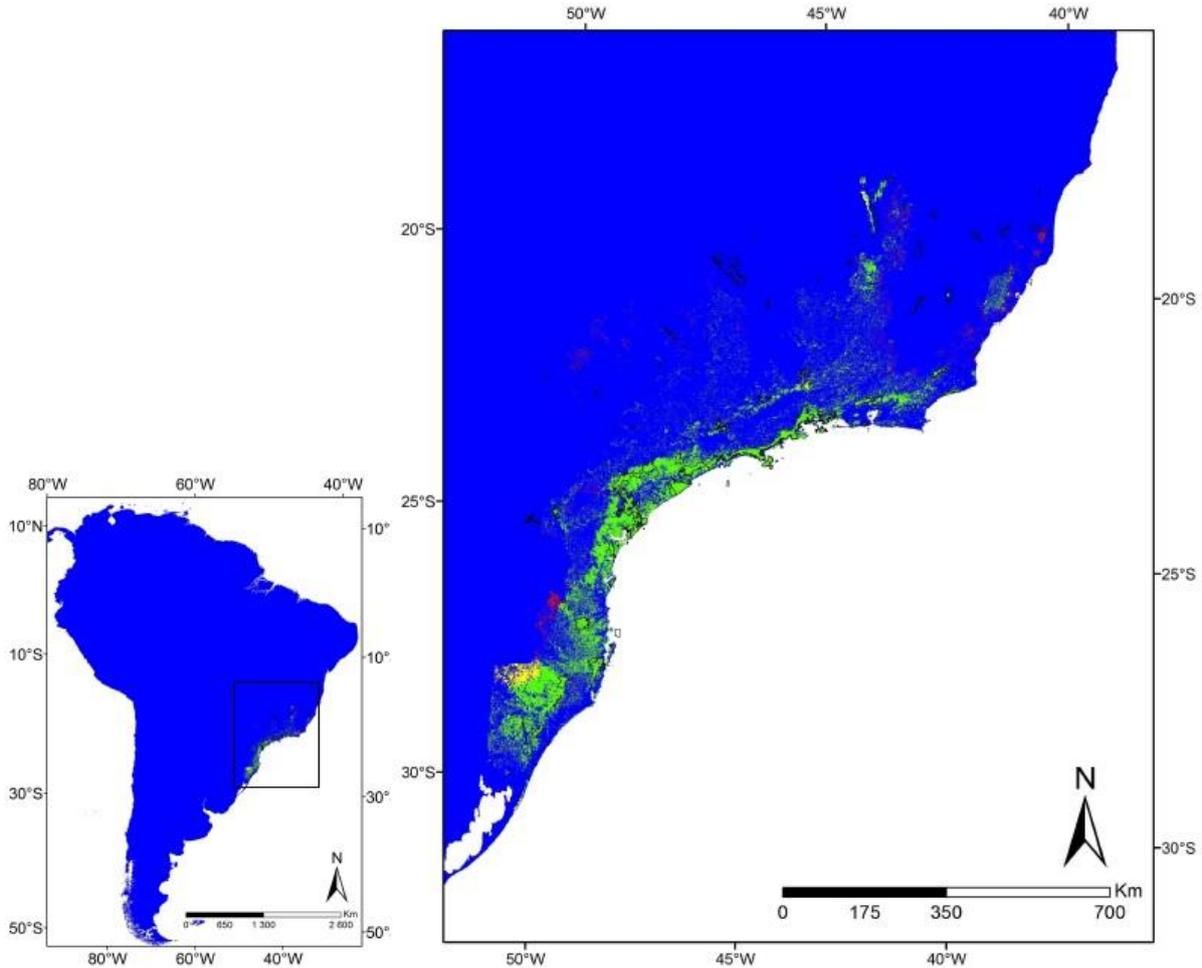
**Figura 2.2:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus kaempferi* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.



**Figura 2.3:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus mirandae* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.



**Figura 2.4:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas preditas como adequadas para *Hemitriccus nidipendulus* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.



**Figura 2.5:** Mapa das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para *Hemitriccus orbitatus* no presente e no futuro, das áreas florestadas nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente. Os polígonos representam as Unidades de Conservação de Proteção Integral.

## DISCUSSÃO

Para quatro das cinco espécies aqui avaliadas, sem descontar as áreas não florestadas, o impacto das mudanças climáticas futuras pode representar uma contração das áreas adequadas, para *H. furcatus*, *H. mirandae*, *H. nidipendulus* e *H. orbitatus* da ordem de 37, 65, 52 e 17%, respectivamente. *H. kaempferi*, por outro lado, pode ter suas áreas adequadas expandidas em cerca de 33%. Conforme o critério A3(c) da classificação de ameaça da UICN (IUCN 2014), essas perdas agravariam o *status* de conservação de *H. mirandae* e *H. nidipendulus*, que são atualmente

classificadas como VU e LC, passando ambas para a categoria EN. *H. furcatus* é atualmente classificada como VU, dessa maneira, permaneceria nessa categoria de acordo com o mesmo critério, enquanto perdas preditas inferiores a 30%, como é o caso de *H. orbitatus*, não acarretam em reclassificação de grau de ameaça em função de perda de habitat. *H. kaempferi*, classificada como a espécie mais ameaçada de todo o gênero (EN) em função da sua distribuição muito restrita e da fragmentação de habitat (Birdlife 2012), apresenta uma tendência oposta aos seus congêneres da Mata Atlântica, com previsão de ganho de área. Sendo endêmica da porção sul do bioma, onde aquecimento moderado e aumento da precipitação são projetados para o futuro, o cenário previsto para essa espécie é o mais otimista, uma tendência já observada para espécies que ocorrem na mesma área, como o mico-leão-da-cara-preta, *Leontopithecus caissara* (Meyer *et al.* 2014). Tendo em vista que *H. mirandae* ocorre na porção nordeste da Mata Atlântica e nos "brejos de altitude", que são enclaves de Mata Atlântica localizados no domínio da Caatinga, não é inesperado que o maior impacto das mudanças climáticas futuras tenha sido projetado para esta espécie. As projeções climáticas futuras apontam que no final do século XXI a Caatinga e a porção nordeste da Mata Atlântica enfrentarão condições de aquecimento intenso, com aumento de 3 a 4,5°C em temperatura, bem como grave diminuição da precipitação entre 30 e 50% (PBMC 2013). Portanto, as regiões onde ocorre *H. mirandae* sofrerão maiores impactos associados às mudanças climáticas futuras do que a porção sudeste da Mata Atlântica, região de ocorrência de *H. furcatus*, *H. nidipendulus* e *H. orbitatus*, onde as projeções climáticas indicam aquecimento mais ameno e aumento da precipitação (PBMC 2013).

Quando se contabilizam apenas as áreas climaticamente adequadas que também são florestadas dentro da extensão de ocorrência, as perdas futuras são menores, atingindo aproximadamente 22, 48, 39 e 2% para *H. furcatus*, *H. mirandae*, *H. nidipendulus* e *H. orbitatus*, respectivamente. A redução prevista para *H. orbitatus* não é relevante, uma vez que as áreas adequadas e disponíveis se mantêm praticamente inalteradas. O *status* de *H. furcatus* não seria modificado pela perda prevista, contudo, para uma espécie que já se encontra classificada como VU, uma perda de mais de um quinto em área é bastante expressiva. *Hemitriccus mirandae* seria mantida como VU, porém está muito próxima do limiar para ser considerada EN. No que concerne a *H. nidipendulus*, a espécie subiria duas categorias de ameaça em relação à atual, passando de LC para VU. A percentagem prevista de aumento em áreas adequadas e florestadas para *H. kaempferi* é de cerca de 35%, mantendo-se bastante similar à análise desconsiderando a cobertura florestal. É importante ressaltar que muitos autores alertam para o impacto que a ação sinérgica dos dois vetores de mudança global, isto é, que a ação combinada de rápidas alterações climáticas e substantiva perda e fragmentação de hábitat, exercerá sobre a distribuição e a persistência de espécies e populações (Opdam & Wascher 2004, MEA 2005, Mantyka-Pringle *et al.* 2011). Essa

sinergia pode ser especialmente impactante na Mata Atlântica, que já perdeu mais de 80% de sua cobertura vegetal original e onde mais de 80% dos remanescentes florestais são menores do que 50 hectares e encontram-se dispersos em paisagens bastante fragmentadas (Ribeiro *et al.* 2009). Por um lado, um alto grau de fragmentação da paisagem pode dificultar a resposta das espécies que ali ocorrem às mudanças climáticas, devido a limitações impostas pela quantidade e configuração espacial do habitat (Opdam & Wascher 2004, Pyke 2004). Por outro lado, áreas sujeitas a tendências de altas temperaturas e decréscimos de precipitação exacerbam os efeitos de perda e fragmentação do habitat sobre a densidade e/ou diversidade de espécies (Mantyka-Pringle *et al.* 2011). Tais considerações ressaltam ainda mais a potencial vulnerabilidade das espécies da porção nordeste da Mata Atlântica, que dentro do bioma é a região a apresentar as condições climáticas de maior aquecimento e diminuição de chuvas (PBMC 2013), bem como a menor quantidade de habitat, com fragmentos pequenos, mais isolados e com muita área próxima da borda (Ribeiro *et al.* 2009).

As espécies que têm a maior parte de áreas adequadas na Região Sudeste estão mais sujeitas aos efeitos da urbanização adjacente aos remanescentes florestais onde vivem em função da alta densidade demográfica nessa região. Dessa forma, *H. furcatus*, *H. nidipendus* e *H. orbitarius* sofrem mais intensamente com outras ameaças além das mudanças do clima e do risco de desmatamento. Um dos distúrbios causados pela urbanização no entorno das áreas florestadas é a poluição sonora, que pode provocar danos físicos aos aparelhos auditivos das aves, causar *stress* afetando seu comportamento e comprometer a comunicação entre indivíduos (Rheindt 2003, Ortega 2012). Outro fator que compromete a qualidade do habitat desses passeriformes é a presença de animais domésticos e de rua, em especial cães e gatos, causando *stress* por sua simples presença no ambiente natural e seu entorno e, por vezes, predando a fauna nativa. Estudos apontam que áreas preservadas podem apresentar redução de até 35% em diversidade e 41% em abundância em função da presença de cães (Banks & Bryant 2007) e que cerca de 29,2 milhões de aves são mortas por gatos domésticos a cada ano no Reino Unido e 100 milhões nos Estados Unidos (Calver *et al.* 2011). Muitas vezes o encontro entre aves nativas e predadores domésticos, em especial os gatos, não resultam em morte, contudo, pode ser um vetor para transmitir doenças como a malária aviária, caso o felino tenha entrado em contato com outra ave contaminada (Navarro *et al.* 2004).

Como esse estudo avaliou os impactos das mudanças climáticas através de modelos de nicho e adequabilidade climática, que são mais apropriados para identificar a exposição às mudanças climáticas, os resultados obtidos refletem mais esse componente da vulnerabilidade das espécies. Assim, o maior impacto das mudanças climáticas identificado para *H. mirandae* reflete sobretudo a exposição de suas populações a essas mudanças. Contudo, em relação à sensibilidade, é possível que esta espécie também seja mais vulnerável a mudanças do clima, já que apresenta distribuição

geográfica mais restrita e parece apresentar maior especificidade de habitat, ocupando as florestas semidecíduais densas e preservadas do nordeste brasileiro (Straube & Roda 2008). O bioma da Caatinga foi recentemente considerado uma das áreas mais vulneráveis do planeta às forçantes climáticas (Sedon *et al.* 2016). Ressalta-se ainda que os "brejos de altitude", enclaves de Mata Atlântica na Caatinga, apresentam altos índices de endemismo (Tabarelli & Santos 2004) o que pode contribuir para uma maior vulnerabilidade da biota dessas áreas.

Em termos de capacidade de adaptação, as espécies podem desenvolver quatro respostas às mudanças climáticas: dispersão, aclimação, adaptação ou extirpação (Holt 1990). Espécies com grande habilidade de dispersão podem abandonar as áreas que se tornam desfavoráveis colonizando novas áreas favoráveis (Souza *et al.* 2011). As futuras distribuições das espécies serão determinadas não apenas pelos fatores climáticos, mas também por outras variáveis bióticas e abióticas, como relações tróficas, topografia, capacidade de adaptação genética e capacidade de dispersão dos organismos (McKenney *et al.* 2007).

É importante ressaltar que as espécies analisadas neste estudo são aves de pequeno porte, com pouca capacidade de dispersão e não migratórias (Cohn-Haft 2000), de modo que a dispersão só pode ser considerada como uma possível resposta às mudanças climáticas para áreas adjacentes. A aclimação pode ser uma reação para áreas onde as alterações climáticas sejam brandas, não afetando gravemente a biota local, de modo que os recursos necessários às aves, como os artrópodes dos quais se alimentam (Cohn-Haft 2000), continuem existindo. Quando à adaptação, deve-se considerar que o horizonte das previsões para 2050 leva em conta poucas gerações das espécies, não havendo tempo hábil para que haja adaptação genética às pressões ambientais. Dessa maneira, para várias das populações localizadas em áreas que deixarão de ser adequadas, é possível que a resposta às mudanças previstas seja a extirpação.

Esse cenário poderá ser ainda pior caso a cobertura florestal dessa região sofra desmatamentos futuros. Contudo, sabe-se que na Mata Atlântica, as paisagens estão em um processo dinâmico de desmatamento e regeneração da floresta ao longo do tempo (Lira *et al.* 2012). Nessa perspectiva, reforça-se a necessidade de ações de conservação voltadas para proteger áreas climaticamente adequadas e ainda florestadas para as espécies alvo, bem como para restaurar as áreas climaticamente adequadas no futuro que não estão atualmente florestadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B. & Anderson, R. P. 2015. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, 38: 541–545.
- Alexandre, B. R., Lorini, M. L. & Grelle, C. E. V. 2013. Modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção: um panorama das pesquisas. *Oecologia Australis*, 17: 483-508.
- Alouche O., Tsoar, A. & Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, 43: 1223-1232.
- Anciães, M. & Peterson, A. T. 2006. Climate change effects on Neotropical manakin diversity based on ecological niche modeling. *Condor*, 108: 778-791.
- Araújo, M. B. & New, M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 22: 42-47.
- Araújo, M. B., Alagador, D., Cabeza, Mar., Nogués-Bravo, D. & Thuiller, W. 2011. Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 14: 484-492.
- Banks, P. B. & Bryant, J. V. 2007. Four-legged friend or foe? Dog walking displaces native birds from natural areas. *Biology Letters*, 3: 611-613.
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C. H. & Thuiller, W. 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 327-338.
- Barve, N., Barve, V., Jiménez-Valverde, A., Lira-Noriega, A., Maher, S. P., Townsend Peterson, A. T., Soberón, J. & Villalobos, F. 2011. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. *Ecological Modelling*, 222: 1810-1819.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. 2012. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology Letters*, 15, 365-377.
- Bellard, C., Leclerc, C., Leroy, B., Bakkenes, M., Veloz, S., Thuiller, W. & Courchamp, F. 2014. Vulnerability of biodiversity hotspots to global change. *Global Ecology Biogeography*, 23: 1376-1386.
- BirdLife International 2017. Species factsheet: *Hemitriccus kaempferi*. <http://www.birdlife.org>

acessado em 15/01/2017

- Buisson, L., Thuiller, W., Casajus, N., Lek, S. & Grenouillet, G. 2010. Uncertainty in ensemble forecasting of species distribution. *Global Change Biology*, 16: 1145-1157.
- Burnham, K.P. & Anderson, D.R. 2002. *Model selection and multimodel inference*. 2nd edition. Springer Science, New York.
- Calver, M. C., Grayson, J., Lilith, M. & Dickman, C. R. 2011. Applying the precautionary principle to the issue of impacts by pet cats on urban wildlife. *Biological Conservation*, 144: 1895-1901.
- Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B. & Thomas, C. D. 2011. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. *Science*, 333: 1024-1026.
- Cohn-Haft, M. 2000. A case study Amazonian biogeography: vocal and DNA-sequence variation in *Hemitriccus* flycatcher. Tese de doutorado, Louisiana State University, Baton Rouge, EUA, 136p.
- Colombo, A. F. & Joly, C. A. 2010. Brazilian Atlantic Forest lato sensu: the most ancient Brazilian forest, and a biodiversity hotspot, is highly threatened by climate change. *Brazilian Journal of Biology*, 70: 697-708.
- Crick, H. Q. P. 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis*, 146-148.
- Cunningham, H. R., Rissler, L. J., Buckley, L. B. & Urban, M. C. 2016. Abiotic and Biotic constraints across reptile and amphibian ranges. *Ecography*, 39(1): 1-8.
- Dawson, T. P., Jackson, S. T., House, J. I., Prentice, I. C. & Mace, G. M. 2011. Beyond predictions: Biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 332: 53-58.
- Diniz-Filho, J. A. F., Rangel, T. F. & Bini, L. M. 2008. Model selection and information theory in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 479-488.
- Diniz-Filho, J. A. F., Bini, L. M., Rangel, T. F., Loyola, R. D., Hof, C., Nogués-Bravo, D. & Araújo, M. B. 2009. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. *Ecography*, 32:897-906.
- Diniz-Filho, J. A. F., Ferro, V. G., Santos, T., Nabout, J. C., Dobrovolski, R. & Marco P. M. 2010. The three phases of the ensemble forecasting of niche models: geographic range and shifts in climatically suitable areas of *Utetheisa ornatix* (Lepidoptera, Arctiidae). *Revista Brasileira de Entomologia*, 54(3): 339-348.

- Duan, R. Y., Kong, X. Q., Huang, M. Y., Varela, S. & Ji, X. 2016. The potential effects of climate change on amphibian distribution, range fragmentation and turnover in China. *PeerJ*, 4:e2185.
- Elsen, P. R. & Tingley, M. W. 2015. Global mountain topography and the fate of montane species under climate change. *Nature Climate Change*, 5: 772-776.
- Ferro, V.G., Lemes, P., Melo, A.S. & Loyola, R. D. 2014. The reduced effectiveness of protected areas under climate change threatens Atlantic Forest tiger moths, *PloS ONE*, 9, e107792.
- Foden, W. B., Butchart, S. H. M., Stuart S. N., Vié, J-C., Akçakaya, H. R., Angulo, A., DeVantier, L. M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S. D., Katariya, V., Bernard, R., Holland, R. A., Hughes, A. F., O'Hanlon, S. E., Garnett, S. T., Şekercioğlu, Ç. H. & Mace, G. M. 2013. Identifying the World's Most Climate Change Vulnerable Species: A Systematic Trait-Based Assessment of all Birds, Amphibians and Corals. *PlosOne*, 8(6): e65427.
- Franklin, J. 2009. Species distribution modeling. In: Franklin, J. (ed.). *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University-Press, 3-20.
- Fundação SOS Mata Atlântica & INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2015. *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica e ecossistemas associados no período de 2013 a 2014*. Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, São Paulo.
- Glick, P., Stein, B. A. & Edelson, N. A. 2011. *Scanning the conservation horizon: a guide to climate change vulnerability assessment*. The National Wildlife Federation.
- Giovanelli, J. G. R., Siqueira, M. F., Haddad, C. F. B. & Alexandrino, J. 2010. Modelinga spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. *Ecological modelling*, 221: 215-224.
- Grenouillet, G., Buisson, L., Casajus, N. & Lek, S. 2011. Ensemble modelling of species distribution: the effects of geographical and environmental ranges. *Ecography*, 34: 9 -17.
- Haddad, C. F. B., Giovanelli, J. G. R. & Alexandrino, J. 2008. O aquecimento global e seus efeitos na distribuição e declínio dos anfíbios. *A Biologia e as Mudanças Climáticas no Brasil*. 195-206.
- Hannah, L. J. 2011. *Climate Change Biology*. Academic Press, Burlington, MA.
- Hefley T. J., Baasch D. M., Tyre A. J. & Blankenship E. E. 2014. Correction of location errors for presence-only species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, 5:207-214.

- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 25: 1965–1978.
- Hole, D. G., Willis, S. G., Pain, D. J., Fishpool, L. D., Butchart, S. H. M., Collingham, Y. C., Rahbek, C. & Huntley, B. 2009. Projected impacts of climate change on a continent-wide protected area network. *Ecology Letters*, 12(5): 420-431.
- Holt, R. D. 1990. The microevolutionary consequences of climate change Trends. *Ecology and Evolution*, 5: 311–315.
- del Hoyo, J., Collar, N., Christie, D. A., Elliott, A. & Fishpool, L. D. C. 2014. Handbook of the Birds of the World Alive. *Lynx Edicions*, Barcelona.
- Hu, J., Hu, H. & Jiang, Z. 2010. The impacts of climate change on the wintering distribution of an endangered migratory bird. *Global Change Ecology*, 164:555-565.
- Hu, J. & Jiang, Z. 2011. Climate change hastens the conservation urgency of an endangered ungulate. *PlosOne*, 6(8): e22873.
- Hu, J. & Liu, Y. 2014. Unveiling the Conservation Biogeography of a Data-Deficient Endangered Bird Species under Climate Change. *PlosOne* 9(1): e84529.
- Hussain, S. S., Mudasser, M., Sheikh, M. M. & Manzoor, N. 2005. Climate Change and variability in mountain regions of Pakistan: Implications for water and agriculture. *Pakistan Journal of Meteorology*, 2(4): 75-90.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge & New York: *Cambridge Univ. Press*.
- IUCN Standards and Petitions Subcommittee 2014. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 11. Prepared by the Standards and Petitions Subcommittee.
- Jenkins, C. N., Alves, M. A. S. & Pimm, S. L. 2010. Avian conservation priorities in a topranked biodiversity hotspot. *Biological Conservation*, 143: 992-998.
- Jenkins, C. N., Pimm, S. L. & Joppa, L. N. 2013. Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110: 2602-2610.
- Johnson, J.B. & Omland, K.S. 2004. Model selection in ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 19: 101-108.

- Krosby, M., Wilsey, C. B., McGuire, J. L., Duggan, J. M., Nogeire, T. M., Heinrichs, J. A., Tewksbury, J. J. & Lawler, J. J. 2015. Climate-induced range overlap among closely related species. *Nature Climate Change*, 5: 883–886.
- Kuhn, E., Lenoir, J., Piedallu, C. & Gégout, J. C. 2016. Early signs of range disjunction of submountainous plant species: an unexplored consequence of future and contemporary climate changes. *Global Change Biology*, 22(6): 2094-2105.
- Lawler, J. J., White, D., Neilson, R. P. & Blaustein A. R. 2006. Predicting climate- induced range shifts: model differences and model reliability. *Global Change Biology*, 12: 1568-1584.
- Lira, P. K., Tambosi, L. R., Ewers, R. M. & Metzger, J. P. 2012. Land-use and landcover change in Atlantic Forest landscapes. *Forest Ecology and Management*, 278: 80-89.
- Liu, C., Berry, P. M., Dawson, T. P. & Pearson, R. G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. *Ecography*, 28: 385 -393.
- Liu, C.; White, M. & Newell, G. 2013. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography*, 40: 778-789.
- Loarie, S. R., Duffy, P. B., Hamilton, H., Asner, G. P., Field, C. B., & Ackerly, D. D. 2009. The velocity of climate change. *Nature*, 462: 1052-1055.
- Lobo, J. M., Jiménez-Valverde, A. & Real, R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 145-151.
- Loiselle, B. A., Howell, C. A., Graham, C. H., Goerck, J. M., Brooks, T., Smith, K. G. & Williams, P. H. 2003. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning. *Conservation Biology*, 17: 1591-1600.
- Loyola, R. D., Lemes, P., Faleiro, F. V., Trindade-Filho, J. & Machado, R. B. 2012. Severe loss of suitable climatic conditions for marsupial species in Brazil: Challenges and opportunities for conservation. *PlosOne*, 7(9): e46257.
- Loyola, R. D., Lemes, P., Brum, F.T., Provete, D.B. & Duarte, L.D.S., 2014. Clade-specific consequences of climate change to amphibians in Atlantic Forest protected areas. *Ecography*, 37: 65-72.
- Mantyka-Pringle, C., Martin, T. G. & Rhodes, J. R. 2011. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. *Global Change Biology*, 18: 1239-1252.

- Marini, M. A. & Garcia, F. I. 2005. Conservação de aves no Brasil, *Megadiversidade*, 1: 95-102.
- Marmion, M., Parviainen, M., Luoto, M., Heikkinen, R. K. & Thuiller, W. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. *Diversity and Distribution*, 15: 59-69.
- McKenney, D. W., Pedlar, J. H., Lawrence, K., Campbell, K. & Hutchinson, M. F. 2007. Potential Impacts of Climate Change on the Distribution of North American Trees. *BioScience*, 57: 939-948.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005. Condition and trends working group, ecosystems and human well-being: current state and trends. Washington, DC: Island Press. 86 p.
- Merow, C., Dahlgren, J. P., Metcalf, C. J. E., Childs, D. Z., Evans, M. E. K., Jongejans, E., Record, S., Rees, M., Slatkover-Gómez, R. & McMahon, S., M. 2014. Advancing population ecology with integral projection models: a practical guide. *Methods in Ecology and Evolution*, 5(2): 99-110.
- Metzger, J. P., Martensen, A. C., Dixo, M., Bernacci, L. C., Ribeiro, M. C., Teixeira, A. M. G. & Pardini, R. 2009. Time-lag in biological responses to landscape changes in a highly dynamic Atlantic forest region. *Biological Conservation*, 142: 1166-1177.
- Meyer, A. L. S., Pie, M. R. & Passos F. C. 2014. Assessing the exposure of lion tamarins (*Leontopithecus spp.*) to future climate change. *American Journal of Primatology*, 76: 551-562.
- Miles, L., Grainer, A. & Phillips, O. 2004. The impact of global climate change on tropical forest diversity in Amazonia. *Global Ecology and Biogeography*, 13: 553-565.
- Mittermeier, R. A., Gil, R.P., Hoffman, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J. & Fonseca, G. A. B. 2005. Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. *Conservation International*.
- Mokhatla, M. M., Rödder, D. & Measey, G. J. 2015. Assessing the effects of climate change on distributions of Cape Floristic Region amphibians. *South African Journal of Science*, 111: 1-7.
- Monzón, J., Moyer-Horner, L. & Palamar, M. B. 2011. Climate change and species range dynamics in protected areas. *BioScience*, 61: 752-761.
- Moritz, C., Patton, J. L., Conroy, C. J., Parra, J. L., White, G. C. & Beissinger, S. R. 2008. Impact of a Century of Climate Change on Small-Mammal Communities in Yosemite National Park,

USA. *Science*, 322: 261-264.

Moritz, C. & Agudo, R. 2013. The Future of Species Under Climate Change: Resilience or Decline? *Science*, 341: 504-508.

Naimi, B. 2015. usdm: Uncertainty analysis for species distribution models. Version 1.1-12. at: <http://cran.r-project.org/web/packages/usdm/index.html> (acesso: 28/10/2016).

Naimi, B. & Araújo, M. B., 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39: 368-375.

Navarro, C., Lope, F., Marzal, A. & Møller, A. P. 2004. Predation Risk, host immune response and parasitism. *Behavioral Ecology*, 15(4): 629-635.

Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'Amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P. & Kassem, K. R. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. *Bioscience*, 51: 933-938.

Opdam, P. & Washer, D. 2004. Climate change meets habitat fragmentation: linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological conservation*, 117: 285-297.

Ortega, C. P. 2012. Effects of noise pollution on birds: a brief review of our knowledge. *Ornithological Monographs*, 74: 6-22.

Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37: 637-669.

PBMC 2013. Contribuição do Grupo e Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro. 24p.

Pearson, R. G., Thuiller, W., Araújo, M. B., Martinez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., Miles, L., Segurado, P., Dawson, T. P. & Lees, D. C. 2006. Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33: 1704-1711.

Pereira, H. M. *et al.* 2010. Scenarios for Global Biodiversity in the 21<sup>st</sup> Century. *Science*, 330: 1496-1501.

Peterson, A. T., Soberon, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martinez-Meyer, E., Nakamura, M. & Araujo, M. B. 2011. Conservation planning and climate change effect. *Ecological Niches and*

*Geographic*, 200-208.

- Pettorelli, N. 2012. Climate change as a main driver of ecological research. *Journal of Applied Ecology*, 49: 542-545.
- Phillips, S. J., & Dudík, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161- 175.
- Poulos, H. M., Chernoff, B., Fuller, P. L. & Butman, D. 2011. Ensemble forecasting of potential habitat for three invasive fishes. *Aquatic Invasions*, 7(1): 59-72.
- Pyke, C. R. 2004. Habitat loss confounds climate change impacts. *Frontiers in Ecology and Environment*, 2: 178-182.
- Ramirez-Villegas , J., Cuesta, F., Devenish, C., Peralvo, M., Jarvis, A. & Arnillas, C. A. 2014. Using species distributions models for designing conservation strategies of Tropical Arboreal biodiversity under climate change. *Journal of Nature Conservation*, 22(5): 391-404.
- Rangel, T. F. & Loyola, R. D. 2012. Labeling Ecological Niche Models. *Natureza & Conservação*, 10(2):119-126.
- Rheindt, F. E. 2003. The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? *Journal für Ornithologie*, 144: 295-306.
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J. & Hirota, M. M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142: 1144-1156.
- Russo, D., Maiorano, L., Rebelo, H. & Preatoni, D. G. 2016. Species Distribution Models: exploring patterns and processes in mammal ecology. *Hystrix*, 27(1): 3-4.
- Rylands, A. B. & Brandon, K. 2005. Unidades de conservação brasileiras. *Megadiversidade* 1:27-35.
- Schaefer, H., Petrenko, V. V., Brook, E. J., Severinghaus, J. P., Reeh, N., Melton, J. R. & Mitchell, L. 2009. Ice stratigraphy at the Pâkitsoq ice margin , West Greenland, derived from gas records. *Journal of Glaciology*, 55: 411-421.
- Schloss, C. A., Tristan, A. N. & Lawler, J. J. 2012. Dispersal will limit ability of mammals to track climate change in the Western Hemisphere. *Proceeding of National Academy of Science*, 109 (22): 8606–8611.

- Seddon, A.W. R., Macias-Fauria, M., Long, P. R., Benz, D. & Willis, K. J. 2016. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature*, 531:229–232.
- Şekercioğlu, Ç. H., Schneider, S. H., Fay, J. P. & Loarie, S. R. 2008. Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conservation Biology*, 22: 140-150.
- Silva, M. P. P., Kamino, L. H. Y. & Pôrto, K. C. 2014. Is the current network system of protected areas in the Atlantic Forest effective in conserving key species of bryophytes? *Tropical Conservation Science*, 1: 61-74.
- Siqueira, M. F. & Peterson, A. T. 2003. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. *Biota Neotropica*, 3: 1-14.
- Souza, T. V., Lorini M. L., Alves, M. A. S., Cordeiro, P. & Vale, M. M. 2011. Redistribution of threatened and endemic Atlantic Forest birds under climate change. *Natureza & Conservação*, 9: 214-218.
- Straube, F. C. & Roda, S. A. 2008. *Hemitriccus mirandae* (Snethlage, 1925). In: Machado, A. B. M., Drummond, G. M. & Paglia, A. P. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção*, 633 - 634.
- Swets, J. A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240: 1285-1293.
- Tabarelli, M. & Santos, A. M. M. 2004. Uma Breve Descrição Sobre a História Natural dos Brejos Nordestinos. *Biodiversidade*, 9: 17-24.
- Tabarelli, M. & Gascon, C. 2005. Lessons from fragmentation research: improving management and policy guidelines for biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 19 (3): 734-739.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L. & Williams, S. E. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427: 145-148.
- Thuiller, W. 2004. Patterns and uncertainties of species' range shifts under climatechange. *Global Change Biology*, 10: 2020-2027.
- Thuiller, W., Broennimann, O., Hughes, G., Alkemade, J. R. M., Midgley, G. F. & Corsi, F. 2006. Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology*, 12: 424-440
- Vale, M. M., Alves, M. A. S. & Lorini, M. L. 2009. Mudanças climáticas: desafios e oportunidades

para a conservação da biodiversidade brasileira. *Oecologia Brasiliensis*, 13: 518-535.

Warren, R., VanDerWal, J., Price, J., Welbergen, J. A., Atkinson, I., Ramirez-Villegas, J., Osborn, T. J., Jarvis, A., Shoo, L. P., Williams, S. E. & Lowe, J. 2013. Quantifying the benefit of early climate change mitigation in avoiding biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 3: 678-682.

Watson, J. E. M., Iwamura, T. & Butt, N. 2013. Mapping vulnerability and conservation adaptation strategies under climate change. *Nature Climate Change*, 3: 989–994.

Wisz, M. S., Hijmans, R. J., Li, J., Peterson, A. T., Graham, C. H., Guisan, A. & NCEAS Predicting Species Distributions Working Group 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, 14: 763-773.

Zhang, L., Liu, S., Sun, P., Wang, T., Wang, G., Zhang, X. & Wang, L. 2015. Consensus Forecasting of Species Distributions: The Effects of Niche Model Performance and Niche Properties. *PlosOne*, 10(3): e0120056.

## APÊNDICE 1

**Tabela S1.1:** Números de registros de ocorrência para cada espécie, de pontos rarefeitos e distância utilizada para a rarefação.

Espécie	Pontos totais	Pontos selecionados	Rarefação (km)
<i>Hemitriccus cohnhafti</i>	7	0	0
<i>Hemitriccus cinnamomeipectus</i>	10	10	0
<i>Hemitriccus diops</i>	102	35	46
<i>Hemitriccus flammulatus</i>	110	40	50
<i>Hemitriccus furcatus</i>	55	36	7
<i>Hemitriccus granadensis</i>	188	53	50
<i>Hemitriccus griseipectus</i>	146	52	50
<i>Hemitriccus inomatus</i>	18	18	0
<i>Hemitriccus iohannis</i>	73	34	31
<i>Hemitriccus josephinae</i>	19	19	0
<i>Hemitriccus kaempferi</i>	24	24	0
<i>Hemitriccus margaritaceiventer</i>	674	236	50
<i>Hemitriccus minimus</i>	51	34	7
<i>Hemitriccus minor</i>	70	36	50
<i>Hemitriccus mirandae</i>	27	27	0
<i>Hemitriccus nidipendulus</i>	70	34	32
<i>Hemitriccus obsoletus</i>	43	35	3
<i>Hemitriccus orbitatus</i>	74	34	36
<i>Hemitriccus rufigularis</i>	40	34	3
<i>Hemitriccus spodiops</i>	43	34	3
<i>Hemitriccus striaticollis</i>	84	59	50
<i>Hemitriccus zosterops</i>	93	47	50

**Tabela S1.2:** Variáveis selecionadas para cada espécie e correlação máxima entre as mesmas.

Espécie	Variáveis selecionadas	Correlação máxima
<i>Hemitriccus cinnamomeipectus</i>	bio1, bio2, bio3 e bio15	0,66
<i>Hemitriccus diops</i>	bio2, bio3, bio8, bio9, bio12, bio13 e bio19	0,69
<i>Hemitriccus flammulatus</i>	bio2, bio4, bio5, bio8, bio15 e bio18	0,7
<i>Hemitriccus furcatus</i>	bio3, bio5, bio7, bio13 e bio19	0,7
<i>Hemitriccus granadensis</i>	bio2, bio3, bio8 e bio18	0,7
<i>Hemitriccus griseipectus</i>	bio2, bio3, bio8, bio9, bio13, bio15 e bio19	0,7
<i>Hemitriccus inomatus</i>	bio2, bio9, bio13 e bio14	0,36
<i>Hemitriccus iohannis</i>	bio2, bio4, bio5 e bio 18	0,7
<i>Hemitriccus josephinae</i>	bio2, bio3, bio5 e bio19	0,38
<i>Hemitriccus kaempferi</i>	bio3, bio4, bio5 e bio12	0,54
<i>Hemitriccus margaritaceiventer</i>	bio2, bio3, bio8, bio13, bio15, bio18 e bio19	0,7
<i>Hemitriccus minimus</i>	bio3, bio4, bio8, bio13, bio18 e bio19	0,62
<i>Hemitriccus minor</i>	bio4, bio5, bio8, bio12, bio13, bio18 e bio19	0,7
<i>Hemitriccus mirandae</i>	bio4, bio5, bio13, bio18 e bio19	0,7
<i>Hemitriccus nidipendulus</i>	bio1, bio3, bio4, bio7, bio12 e bio19	0,7
<i>Hemitriccus obsoletus</i>	bio3, bio7, bio8, bio9 e bio12	0,7
<i>Hemitriccus orbitatus</i>	bio2, bio4, bio8, bio9 e bio18	0,7
<i>Hemitriccus rufigularis</i>	bio2, bio6, bio15 e bio18	0,7
<i>Hemitriccus spodiops</i>	bio2, bio4, bio15 e bio18	0,7
<i>Hemitriccus striaticollis</i>	bio2, bio3, bio8, bio9, bio13, bio15, bio18 e bio19	0,7
<i>Hemitriccus zosterops</i>	bio2, bio4, bio5 e bio 12	0,7

**bio1:** Temperatura média anual; **bio2:** Amplitude média diurna; **bio3:** Isotermalidade; **bio4:** Sazonalidade da temperatura; **bio5:** Temperatura máxima do mês mais quente; **bio6:** Temperatura mínima do mês mais frio; **bio7:** Amplitude anual da temperatura; **bio8:** Temperatura média do trimestre mais úmido; **bio9:** Temperatura média do trimestre mais seco; **bio10:** Temperatura média do trimestre mais quente; **bio11:** Temperatura média do trimestre mais frio; **bio12:** Precipitação anual; **bio13:** Precipitação do mês mais úmido; **bio14:** Precipitação do mês mais seco; **bio15:** Sazonalidade da precipitação; **bio16:** Precipitação do trimestre mais úmido; **bio17:** Precipitação do trimestre mais seco; **bio18:** Precipitação do trimestre mais quente; **bio19:** Precipitação do trimestre mais frio.

**Tabelas S1.3:** Perfis ambientais das 21 espécies de *Hemitriccus* analisadas. Em destaque as variáveis que foram selecionadas para a modelagem.

<i>Hemitriccus cinnamomeipectus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	1097	2200	1828,500	359,373
Temperatura média anual	167	216	185,200	16,572
Amplitude média diurna	99	121	109,400	5,441
Isotermalidade	77	84	81,300	1,889
Sazonalidade da temperatura	393	603	482,200	64,079
Temperatura máxima do mês mais quente	234	290	253,800	18,790
Temperatura mínima do mês mais frio	102	155	120,000	19,362
Amplitude anual da temperatura	127	148	133,800	5,412
Temperatura média do trimestre mais úmido	167	216	184,400	16,105
Temperatura média do trimestre mais seco	161	222	182,400	21,475
Temperatura média do trimestre mais quente	173	225	191,600	17,475
Temperatura média do trimestre mais frio	161	208	178,300	16,262
Precipitação anual	845	2885	1544,200	774,372
Precipitação do mês mais úmido	116	317	174,800	77,899
Precipitação do mês mais seco	26	188	91,900	60,165
Sazonalidade da precipitação	13	45	22,600	9,107
Precipitação do trimestre mais úmido	297	859	472,500	218,878
Precipitação do trimestre mais seco	82	600	298,900	186,531
Precipitação do trimestre mais quente	254	600	368,400	134,733
Precipitação do trimestre mais frio	82	829	350,900	272,405

<i>Hemitriccus diops</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	87	1684	736,608	413,411
Temperatura média anual	135	235	188,794	20,580
Amplitude média diurna	70	137	114,088	16,477
Isotermalidade	51	67	59,775	3,820
Sazonalidade da temperatura	1182	3730	2526,343	764,608
Temperatura máxima do mês mais quente	209	329	278,873	30,315
Temperatura mínima do mês mais frio	30	176	88,333	27,642
Amplitude anual da temperatura	109	242	190,539	33,460
Temperatura média do trimestre mais úmido	158	253	210,284	22,703
Temperatura média do trimestre mais seco	105	214	159,382	22,383
Temperatura média do trimestre mais quente	159	258	219,118	24,573
Temperatura média do trimestre mais frio	102	212	155,020	21,412
Precipitação anual	723	2582	1589,020	307,990
Precipitação do mês mais úmido	106	346	231,480	60,673
Precipitação do mês mais seco	8	125	59,833	35,985
Sazonalidade da precipitação	12	87	44,529	23,377
Precipitação do trimestre mais úmido	276	1018	628,108	169,404
Precipitação do trimestre mais seco	30	424	206,480	118,557
Precipitação do trimestre mais quente	219	981	558,373	160,334
Precipitação do trimestre mais frio	49	452	223,735	126,216

<i>Hemitriccus flammulatus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	132	1031	332,482	181,817
Temperatura média anual	225	266	248,427	8,408
Amplitude média diurna	99	138	113,064	9,077
Isotermalidade	62	86	71,927	5,700
Sazonalidade da temperatura	479	2185	1125,036	440,338
Temperatura máxima do mês mais quente	299	345	320,764	9,032
Temperatura mínima do mês mais frio	116	187	163,609	16,798
Amplitude anual da temperatura	131	197	157,155	17,528
Temperatura média do trimestre mais úmido	228	271	256,282	7,640
Temperatura média do trimestre mais seco	199	259	232,555	12,339
Temperatura média do trimestre mais quente	233	274	258,536	7,769
Temperatura média do trimestre mais frio	199	259	231,364	12,718
Precipitação anual	1048	4223	2284,255	718,111
Precipitação do mês mais úmido	139	621	342,064	103,598
Precipitação do mês mais seco	5	172	65,427	39,103
Sazonalidade da precipitação	23	78	51,845	9,590
Precipitação do trimestre mais úmido	341	1702	948,427	282,792
Precipitação do trimestre mais seco	39	569	225,627	122,340
Precipitação do trimestre mais quente	247	1512	740,100	287,830
Precipitação do trimestre mais frio	56	569	237,982	114,310

<i>Hemitriccus furcatus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	14	2164	568,255	495,187
Temperatura média anual	116	243	200,291	28,412
Amplitude média diurna	70	124	99,800	13,932
Isotermalidade	51	67	59,818	3,959
Sazonalidade da temperatura	1269	2311	2064,782	328,501
Temperatura máxima do mês mais quente	192	312	276,164	28,575
Temperatura mínima do mês mais frio	9	176	110,455	37,879
Amplitude anual da temperatura	109	196	165,709	21,582
Temperatura média do trimestre mais úmido	136	256	222,927	29,070
Temperatura média do trimestre mais seco	92	231	173,345	29,903
Temperatura média do trimestre mais quente	137	262	225,673	29,337
Temperatura média do trimestre mais frio	92	218	172,309	29,219
Precipitação anual	723	2698	1759,418	592,312
Precipitação do mês mais úmido	106	373	261,545	74,860
Precipitação do mês mais seco	20	104	51,164	26,652
Sazonalidade da precipitação	23	73	52,582	12,229
Precipitação do trimestre mais úmido	276	1066	744,473	231,424
Precipitação do trimestre mais seco	77	328	173,509	83,143
Precipitação do trimestre mais quente	219	1015	696,218	243,366
Precipitação do trimestre mais frio	77	328	177,618	81,089

<i>Hemitriccus granadensis</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	6	4372	2178,186	710,010
Temperatura média anual	24	278	163,043	37,723
Amplitude média diurna	72	164	109,362	21,455
Isotermalidade	71	93	83,633	5,347
Sazonalidade da temperatura	172	1466	517,441	296,272
Temperatura máxima do mês mais quente	78	337	227,069	38,841
Temperatura mínima do mês mais frio	-72	223	95,420	46,040
Amplitude anual da temperatura	80	228	131,649	32,874
Temperatura média do trimestre mais úmido	27	276	163,282	36,958
Temperatura média do trimestre mais seco	14	279	157,633	39,767
Temperatura média do trimestre mais quente	31	281	168,112	37,561
Temperatura média do trimestre mais frio	12	275	155,170	38,844
Precipitação anual	449	7270	1785,239	880,053
Precipitação do mês mais úmido	70	890	256,782	132,939
Precipitação do mês mais seco	3	294	61,670	44,571
Sazonalidade da precipitação	13	79	43,239	17,277
Precipitação do trimestre mais úmido	199	2505	664,612	329,150
Precipitação do trimestre mais seco	20	1027	220,356	149,441
Precipitação do trimestre mais quente	138	1156	453,229	198,728
Precipitação do trimestre mais frio	20	2502	373,324	350,094

<i>Hemitriccus griseipectus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	23	1957	345,521	316,616
Temperatura média anual	175	272	247,288	14,976
Amplitude média diurna	61	141	109,644	18,124
Isotermalidade	62	86	71,959	4,889
Sazonalidade da temperatura	287	2182	1002,397	406,483
Temperatura máxima do mês mais quente	253	360	320,610	22,197
Temperatura mínima do mês mais frio	81	224	168,342	20,789
Amplitude anual da temperatura	88	207	152,267	28,371
Temperatura média do trimestre mais úmido	180	271	250,418	16,927
Temperatura média do trimestre mais seco	164	276	237,089	17,802
Temperatura média do trimestre mais quente	182	278	256,829	14,288
Temperatura média do trimestre mais frio	164	268	232,753	18,303
Precipitação anual	1055	4821	2253,616	617,142
Precipitação do mês mais úmido	178	725	342,233	86,174
Precipitação do mês mais seco	10	205	56,815	38,381
Sazonalidade da precipitação	20	71	54,774	9,486
Precipitação do trimestre mais úmido	484	1970	953,616	234,499
Precipitação do trimestre mais seco	51	662	197,719	120,769
Precipitação do trimestre mais quente	149	1504	622,377	291,985
Precipitação do trimestre mais frio	86	1084	296,212	199,419

<i>Hemitriccus inornatus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	13	321	107,556	64,948
Temperatura média anual	258	274	269,389	3,517
Amplitude média diurna	85	98	87,833	3,698
Isotermalidade	74	90	82,222	3,719
Sazonalidade da temperatura	340	769	479,222	116,216
Temperatura máxima do mês mais quente	321	335	326,500	3,092
Temperatura mínima do mês mais frio	209	227	220,278	3,754
Amplitude anual da temperatura	102	118	106,222	4,710
Temperatura média do trimestre mais úmido	253	270	264,722	3,340
Temperatura média do trimestre mais seco	268	279	273,667	2,808
Temperatura média do trimestre mais quente	269	281	275,722	3,006
Temperatura média do trimestre mais frio	250	270	264,167	4,162
Precipitação anual	1543	2941	2476,889	390,113
Precipitação do mês mais úmido	281	437	353,389	54,965
Precipitação do mês mais seco	19	152	95,556	35,322
Sazonalidade da precipitação	21	90	41,111	15,484
Precipitação do trimestre mais úmido	742	1168	962,944	159,522
Precipitação do trimestre mais seco	66	488	328,222	110,132
Precipitação do trimestre mais quente	187	495	371,778	101,947
Precipitação do trimestre mais frio	632	1069	821,056	135,739

<i>Hemitriccus iohannis</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	80	1646	330,288	266,419
Temperatura média anual	199	268	250,795	11,764
Amplitude média diurna	94	136	108,986	6,873
Isotermalidade	66	86	75,616	5,671
Sazonalidade da temperatura	375	1175	796,795	241,750
Temperatura máxima do mês mais quente	281	344	319,110	11,605
Temperatura mínima do mês mais frio	111	208	174,753	17,396
Amplitude anual da temperatura	110	171	144,356	16,562
Temperatura média do trimestre mais úmido	200	268	254,767	11,606
Temperatura média do trimestre mais seco	189	264	239,219	13,391
Temperatura média do trimestre mais quente	207	274	258,000	11,534
Temperatura média do trimestre mais frio	187	262	238,603	13,215
Precipitação anual	1584	3432	2411,616	583,910
Precipitação do mês mais úmido	220	474	332,425	77,534
Precipitação do mês mais seco	6	203	80,616	46,698
Sazonalidade da precipitação	14	66	45,452	11,909
Precipitação do trimestre mais úmido	587	1323	932,151	215,752
Precipitação do trimestre mais seco	56	634	275,466	144,670
Precipitação do trimestre mais quente	373	1165	710,301	187,523
Precipitação do trimestre mais frio	94	655	292,712	142,037

<i>Hemitriscus josephinae</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	5	638	191,053	163,153
Temperatura média anual	233	274	262,895	11,396
<b>Amplitude média diurna</b>	<b>74</b>	<b>106</b>	<b>89,474</b>	<b>6,603</b>
<b>Isotermalidade</b>	<b>75</b>	<b>84</b>	<b>79,263</b>	<b>2,960</b>
Sazonalidade da temperatura	421	732	561,789	103,553
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	<b>302</b>	<b>343</b>	<b>325,263</b>	<b>10,728</b>
Temperatura mínima do mês mais frio	178	231	212,895	13,678
Amplitude anual da temperatura	88	136	112,368	10,128
Temperatura média do trimestre mais úmido	230	270	258,737	10,933
Temperatura média do trimestre mais seco	239	280	269,579	11,862
Temperatura média do trimestre mais quente	239	280	270,579	11,815
Temperatura média do trimestre mais frio	225	269	256,421	12,011
Precipitação anual	1493	3273	2219,895	450,347
Precipitação do mês mais úmido	213	495	357,842	55,523
Precipitação do mês mais seco	35	116	64,105	23,295
Sazonalidade da precipitação	32	73	52,105	12,160
Precipitação do trimestre mais úmido	580	1224	945,105	128,609
Precipitação do trimestre mais seco	142	374	231,105	71,608
Precipitação do trimestre mais quente	150	425	245,421	79,996
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	<b>309</b>	<b>1048</b>	<b>732,368</b>	<b>193,355</b>

<i>Hemitriscus kaempferi</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	5	723	74,625	149,955
Temperatura média anual	171	213	204,958	8,665
Amplitude média diurna	71	93	81,250	7,566
<b>Isotermalidade</b>	<b>45</b>	<b>51</b>	<b>48,375</b>	<b>1,637</b>
Sazonalidade da temperatura	2623	3344	2855,458	144,204
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	<b>259</b>	<b>302</b>	<b>288,333</b>	<b>7,693</b>
Temperatura mínima do mês mais frio	80	136	122,292	13,537
Amplitude anual da temperatura	152	185	166,042	11,289
Temperatura média do trimestre mais úmido	207	252	241,542	8,905
Temperatura média do trimestre mais seco	136	177	169,250	8,558
Temperatura média do trimestre mais quente	207	254	241,625	9,016
Temperatura média do trimestre mais frio	134	177	168,583	9,264
<b>Precipitação anual</b>	<b>1497</b>	<b>2062</b>	<b>1755,000</b>	<b>156,610</b>
Precipitação do mês mais úmido	194	291	245,083	33,048
Precipitação do mês mais seco	71	89	80,208	3,967
Sazonalidade da precipitação	25	43	35,167	5,654
Precipitação do trimestre mais úmido	530	866	678,500	102,610
Precipitação do trimestre mais seco	237	295	267,375	12,395
Precipitação do trimestre mais quente	530	866	676,875	100,830
Precipitação do trimestre mais frio	238	298	268,167	13,334

<i>Hemitriscus margaritaceiventris</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	1	4256	565,209	586,955
Temperatura média anual	24	285	228,608	31,009
<b>Amplitude média diurna</b>	<b>67</b>	<b>154</b>	<b>116,208</b>	<b>15,709</b>
<b>Isotermalidade</b>	<b>46</b>	<b>88</b>	<b>66,068</b>	<b>10,382</b>
Sazonalidade da temperatura	266	6068	2102,362	1292,729
Temperatura máxima do mês mais quente	78	362	314,533	31,752
Temperatura mínima do mês mais frio	-43	230	133,318	46,535
Amplitude anual da temperatura	91	325	181,215	46,852
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	<b>27</b>	<b>291</b>	<b>246,304</b>	<b>28,863</b>
Temperatura média do trimestre mais seco	14	282	203,945	40,999
Temperatura média do trimestre mais quente	31	296	251,746	29,511
Temperatura média do trimestre mais frio	12	274	199,227	40,151
Precipitação anual	181	2940	1128,961	447,670
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	<b>37</b>	<b>495</b>	<b>186,071</b>	<b>76,124</b>
Precipitação do mês mais seco	0	116	23,438	20,930
<b>Sazonalidade da precipitação</b>	<b>15</b>	<b>106</b>	<b>60,862</b>	<b>18,807</b>
Precipitação do trimestre mais úmido	96	1344	496,859	190,729
Precipitação do trimestre mais seco	0	435	88,721	72,034
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>47</b>	<b>863</b>	<b>385,329</b>	<b>143,996</b>
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	<b>0</b>	<b>1344</b>	<b>138,823</b>	<b>136,472</b>

<i>Hemitriscus minimus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	7	596	182,157	130,441
Temperatura média anual	232	273	260,020	9,458
Amplitude média diurna	84	140	111,490	19,194
<b>Isotermalidade</b>	<b>65</b>	<b>89</b>	<b>77,078</b>	<b>6,773</b>
Sazonalidade da temperatura	289	1755	529,373	234,569
Temperatura máxima do mês mais quente	307	360	333,961	15,441
Temperatura mínima do mês mais frio	128	227	187,196	26,699
Amplitude anual da temperatura	101	202	146,765	36,996
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	<b>235</b>	<b>271</b>	<b>258,275</b>	<b>8,164</b>
Temperatura média do trimestre mais seco	207	278	257,078	13,542
Temperatura média do trimestre mais quente	241	280	265,941	8,348
Temperatura média do trimestre mais frio	205	269	253,490	12,204
Precipitação anual	1137	3167	2239,137	385,173
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	<b>182</b>	<b>404</b>	<b>315,941</b>	<b>54,693</b>
Precipitação do mês mais seco	4	199	62,863	56,302
Sazonalidade da precipitação	18	78	49,431	19,948
Precipitação do trimestre mais úmido	506	1178	888,941	155,332
Precipitação do trimestre mais seco	32	634	222,098	178,090
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>104</b>	<b>803</b>	<b>409,569</b>	<b>168,992</b>
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	<b>56</b>	<b>1096</b>	<b>475,765</b>	<b>339,339</b>

<i>Hemitriscus minor</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	7	714	144,114	147,047
Temperatura média anual	231	274	260,629	11,818
Amplitude média diurna	83	140	107,143	18,578
Isotermalidade	65	89	75,457	6,752
Sazonalidade da temperatura	289	1383	542,714	227,534
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	<b>304</b>	<b>360</b>	<b>332,414</b>	<b>11,882</b>
Temperatura mínima do mês mais frio	135	228	188,571	30,206
Amplitude anual da temperatura	101	202	143,843	35,253
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	<b>228</b>	<b>270</b>	<b>258,886</b>	<b>10,129</b>
Temperatura média do trimestre mais seco	223	280	258,686	16,624
Temperatura média do trimestre mais quente	235	281	266,786	11,365
Temperatura média do trimestre mais frio	221	270	253,600	14,535
<b>Precipitação anual</b>	<b>1342</b>	<b>3009</b>	<b>2163,143</b>	<b>340,397</b>
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	<b>236</b>	<b>412</b>	<b>322,929</b>	<b>44,140</b>
Precipitação do mês mais seco	0	176	42,600	38,140
Sazonalidade da precipitação	19	80	56,400	13,537
Precipitação do trimestre mais úmido	637	1178	913,371	129,363
Precipitação do trimestre mais seco	20	590	162,414	120,363
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>152</b>	<b>591</b>	<b>331,514</b>	<b>73,388</b>
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	<b>55</b>	<b>1096</b>	<b>470,571</b>	<b>365,369</b>

<i>Hemitriscus mirandae</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	31	905	513,667	285,994
Temperatura média anual	205	269	227,481	17,984
Amplitude média diurna	61	114	88,333	13,502
Isotermalidade	67	80	73,333	4,412
Sazonalidade da temperatura	553	1566	963,370	373,853
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	<b>266</b>	<b>338</b>	<b>289,815</b>	<b>16,871</b>
Temperatura mínima do mês mais frio	147	210	170,185	20,273
Amplitude anual da temperatura	90	143	119,630	15,067
Temperatura média do trimestre mais úmido	188	261	219,444	20,156
Temperatura média do trimestre mais seco	209	277	232,519	17,812
Temperatura média do trimestre mais quente	216	278	237,481	17,758
Temperatura média do trimestre mais frio	183	258	213,370	20,169
Precipitação anual	591	2084	1320,185	317,427
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	<b>89</b>	<b>376</b>	<b>253,148</b>	<b>69,493</b>
Precipitação do mês mais seco	2	47	20,630	11,382
Sazonalidade da precipitação	54	103	75,630	17,487
Precipitação do trimestre mais úmido	245	988	689,704	183,937
Precipitação do trimestre mais seco	9	169	74,963	41,942
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>28</b>	<b>431</b>	<b>187,963</b>	<b>90,417</b>
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	<b>70</b>	<b>951</b>	<b>463,704</b>	<b>232,278</b>

<i>Hemitriscus nidipendulus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	4	1656	632,586	418,969
<b>Temperatura média anual</b>	<b>136</b>	<b>242</b>	<b>200,414</b>	<b>22,948</b>
Amplitude média diurna	61	129	99,529	17,712
<b>Isotermalidade</b>	<b>54</b>	<b>72</b>	<b>60,257</b>	<b>4,155</b>
Sazonalidade da temperatura	979	2979	2043,214	414,751
Temperatura máxima do mês mais quente	211	313	277,143	20,431
Temperatura mínima do mês mais frio	35	194	113,400	35,927
<b>Amplitude anual da temperatura</b>	<b>96</b>	<b>197</b>	<b>163,743</b>	<b>26,418</b>
Temperatura média do trimestre mais úmido	159	258	221,100	20,834
Temperatura média do trimestre mais seco	106	238	174,157	26,409
Temperatura média do trimestre mais quente	160	261	225,029	22,552
Temperatura média do trimestre mais frio	103	228	172,914	26,270
<b>Precipitação anual</b>	<b>720</b>	<b>2582</b>	<b>1404,571</b>	<b>412,198</b>
Precipitação do mês mais úmido	105	346	228,086	71,073
Precipitação do mês mais seco	11	132	37,900	21,918
Sazonalidade da precipitação	19	88	55,157	17,045
Precipitação do trimestre mais úmido	275	1018	622,200	198,431
Precipitação do trimestre mais seco	36	421	130,229	71,045
Precipitação do trimestre mais quente	206	981	547,129	193,953
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	<b>38</b>	<b>653</b>	<b>141,443</b>	<b>85,567</b>

<i>Hemitriscus obsoletus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	14	2130	1008,465	484,043
Temperatura média anual	118	231	167,698	25,809
Amplitude média diurna	92	129	108,442	10,640
<b>Isotermalidade</b>	<b>50</b>	<b>67</b>	<b>58,233</b>	<b>4,185</b>
Sazonalidade da temperatura	1814	3390	2504,535	386,379
Temperatura máxima do mês mais quente	194	315	252,488	30,211
Temperatura mínima do mês mais frio	10	147	67,953	28,478
<b>Amplitude anual da temperatura</b>	<b>164</b>	<b>224</b>	<b>184,535</b>	<b>12,219</b>
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	<b>134</b>	<b>256</b>	<b>187,674</b>	<b>33,539</b>
<b>Temperatura média do trimestre mais seco</b>	<b>93</b>	<b>202</b>	<b>144,047</b>	<b>29,734</b>
Temperatura média do trimestre mais quente	139	259	197,744	28,126
Temperatura média do trimestre mais frio	93	202	134,140	25,582
<b>Precipitação anual</b>	<b>1248</b>	<b>2582</b>	<b>1748,814</b>	<b>298,849</b>
Precipitação do mês mais úmido	178	369	256,953	58,048
Precipitação do mês mais seco	22	139	60,093	39,704
Sazonalidade da precipitação	9	73	47,860	22,594
Precipitação do trimestre mais úmido	461	1055	716,953	177,667
Precipitação do trimestre mais seco	83	490	213,558	131,959
Precipitação do trimestre mais quente	447	981	682,186	152,340
Precipitação do trimestre mais frio	83	529	227,698	142,014

<i>Hemitriccus orbitatus</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	2	1185	410,919	369,067
Temperatura média anual	167	241	204,446	21,351
<b>Amplitude média diurna</b>	<b>70</b>	<b>127</b>	<b>97,257</b>	<b>12,678</b>
Isotermalidade	45	67	56,946	4,938
<b>Sazonalidade da temperatura</b>	<b>1523</b>	<b>3177</b>	<b>2317,270</b>	<b>337,600</b>
Temperatura máxima do mês mais quente	244	327	284,878	22,109
Temperatura mínima do mês mais frio	69	167	115,905	24,966
Amplitude anual da temperatura	123	199	168,973	12,263
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	<b>167</b>	<b>259</b>	<b>229,878</b>	<b>23,254</b>
<b>Temperatura média do trimestre mais seco</b>	<b>137</b>	<b>218</b>	<b>175,608</b>	<b>22,839</b>
Temperatura média do trimestre mais quente	194	264	233,473	21,222
Temperatura média do trimestre mais frio	137	216	173,919	22,843
Precipitação anual	938	2582	1650,622	391,626
Precipitação do mês mais úmido	130	346	249,014	48,604
Precipitação do mês mais seco	9	110	53,135	24,282
Sazonalidade da precipitação	9	84	50,081	13,068
Precipitação do trimestre mais úmido	340	1018	690,703	149,652
Precipitação do trimestre mais seco	31	349	177,932	76,810
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>284</b>	<b>981</b>	<b>648,122</b>	<b>160,886</b>
Precipitação do trimestre mais frio	50	383	182,784	75,812

<i>Hemitriccus rufigularis</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	223	2251	1033,400	476,042
Temperatura média anual	160	260	220,675	22,199
<b>Amplitude média diurna</b>	<b>83</b>	<b>149</b>	<b>109,500</b>	<b>14,129</b>
Isotermalidade	66	90	78,750	6,972
Sazonalidade da temperatura	218	1464	729,275	332,410
Temperatura máxima do mês mais quente	230	327	287,625	23,410
<b>Temperatura mínima do mês mais frio</b>	<b>91</b>	<b>184</b>	<b>149,200</b>	<b>21,682</b>
Amplitude anual da temperatura	113	185	138,425	16,001
Temperatura média do trimestre mais úmido	160	260	222,525	24,381
Temperatura média do trimestre mais seco	162	252	212,175	20,247
Temperatura média do trimestre mais quente	164	265	227,825	22,773
Temperatura média do trimestre mais frio	153	252	209,825	22,063
Precipitação anual	1323	4372	2549,550	955,970
Precipitação do mês mais úmido	173	534	339,850	115,618
Precipitação do mês mais seco	23	247	111,300	69,295
<b>Sazonalidade da precipitação</b>	<b>13</b>	<b>60</b>	<b>38,575</b>	<b>13,525</b>
Precipitação do trimestre mais úmido	419	1476	946,000	326,128
Precipitação do trimestre mais seco	97	760	360,100	207,293
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>358</b>	<b>1306</b>	<b>680,325</b>	<b>238,653</b>
Precipitação do trimestre mais frio	107	1374	478,725	399,739

<i>Hemitriccus spodiops</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	336	2908	1564,000	602,302
Temperatura média anual	144	251	201,977	23,515
<b>Amplitude média diurna</b>	<b>93</b>	<b>158</b>	<b>119,674</b>	<b>22,175</b>
Isotermalidade	63	74	70,279	6,914
<b>Sazonalidade da temperatura</b>	<b>1052</b>	<b>2018</b>	<b>1424,000</b>	<b>308,269</b>
Temperatura máxima do mês mais quente	231	328	278,814	21,418
Temperatura mínima do mês mais frio	30	149	108,907	36,827
Amplitude anual da temperatura	127	230	169,907	34,509
Temperatura média do trimestre mais úmido	153	268	212,581	24,676
Temperatura média do trimestre mais seco	126	232	181,512	23,475
Temperatura média do trimestre mais quente	155	268	215,395	23,539
Temperatura média do trimestre mais frio	126	222	180,349	23,223
Precipitação anual	838	3728	1728,558	592,714
Precipitação do mês mais úmido	170	596	279,860	93,884
Precipitação do mês mais seco	8	113	38,651	23,615
<b>Sazonalidade da precipitação</b>	<b>51</b>	<b>78</b>	<b>59,488</b>	<b>6,748</b>
Precipitação do trimestre mais úmido	446	1599	782,395	242,562
Precipitação do trimestre mais seco	45	375	144,047	73,843
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>335</b>	<b>1415</b>	<b>572,000</b>	<b>211,756</b>
Precipitação do trimestre mais frio	45	383	150,814	73,085

<i>Hemitriccus striaticollis</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	13	1092	267,310	243,584
Temperatura média anual	207	275	252,321	15,010
<b>Amplitude média diurna</b>	<b>64</b>	<b>154</b>	<b>113,036</b>	<b>19,838</b>
Isotermalidade	64	89	72,083	5,303
Sazonalidade da temperatura	269	1937	1023,667	453,986
Temperatura máxima do mês mais quente	267	362	327,619	18,247
Temperatura mínima do mês mais frio	105	227	170,393	28,710
Amplitude anual da temperatura	88	226	157,226	32,205
<b>Temperatura média do trimestre mais úmido</b>	<b>210</b>	<b>280</b>	<b>255,631</b>	<b>15,157</b>
<b>Temperatura média do trimestre mais seco</b>	<b>193</b>	<b>279</b>	<b>243,226</b>	<b>19,908</b>
Temperatura média do trimestre mais quente	217	281	262,238	14,860
Temperatura média do trimestre mais frio	189	270	237,214	18,319
Precipitação anual	733	3015	1682,440	503,108
<b>Precipitação do mês mais úmido</b>	<b>133</b>	<b>453</b>	<b>285,976</b>	<b>70,224</b>
Precipitação do mês mais seco	0	115	25,917	25,449
<b>Sazonalidade da precipitação</b>	<b>17</b>	<b>99</b>	<b>67,833</b>	<b>13,997</b>
Precipitação do trimestre mais úmido	320	1247	781,321	197,506
Precipitação do trimestre mais seco	3	399	95,000	81,355
<b>Precipitação do trimestre mais quente</b>	<b>105</b>	<b>1127</b>	<b>394,881</b>	<b>209,454</b>
<b>Precipitação do trimestre mais frio</b>	<b>3</b>	<b>1141</b>	<b>244,631</b>	<b>287,711</b>

<i>Hemitriccus zosterops</i>				
Variável ambiental	Mínimo	Máximo	Média	DP
Altitude	13	1533	296,011	288,935
Temperatura média anual	203	282	256,258	14,674
<b>Amplitude média diurna</b>	<b>81</b>	<b>128</b>	<b>95,301</b>	<b>9,932</b>
Isotermalidade	65	90	81,731	5,057
<b>Sazonalidade da temperatura</b>	<b>338</b>	<b>1215</b>	<b>512,527</b>	<b>127,995</b>
<b>Temperatura máxima do mês mais quente</b>	<b>267</b>	<b>360</b>	<b>317,065</b>	<b>15,117</b>
Temperatura mínima do mês mais frio	135	228	200,903	20,108
Amplitude anual da temperatura	101	150	116,161	12,637
Temperatura média do trimestre mais úmido	203	273	252,677	13,661
Temperatura média do trimestre mais seco	196	298	258,559	17,890
Temperatura média do trimestre mais quente	211	298	262,333	15,147
Temperatura média do trimestre mais frio	196	270	249,484	14,997
<b>Precipitação anual</b>	<b>1373</b>	<b>4257</b>	<b>2630,258</b>	<b>631,167</b>
Precipitação do mês mais úmido	168	486	329,247	71,028
Precipitação do mês mais seco	24	253	120,398	58,794
Sazonalidade da precipitação	12	72	32,172	14,662
Precipitação do trimestre mais úmido	422	1376	916,043	214,605
Precipitação do trimestre mais seco	128	807	406,280	178,325
Precipitação do trimestre mais quente	150	980	499,645	206,368
Precipitação do trimestre mais frio	177	1353	785,204	279,735

**Tabela S1.4:** Intersecção de áreas entre os pares de espécies.

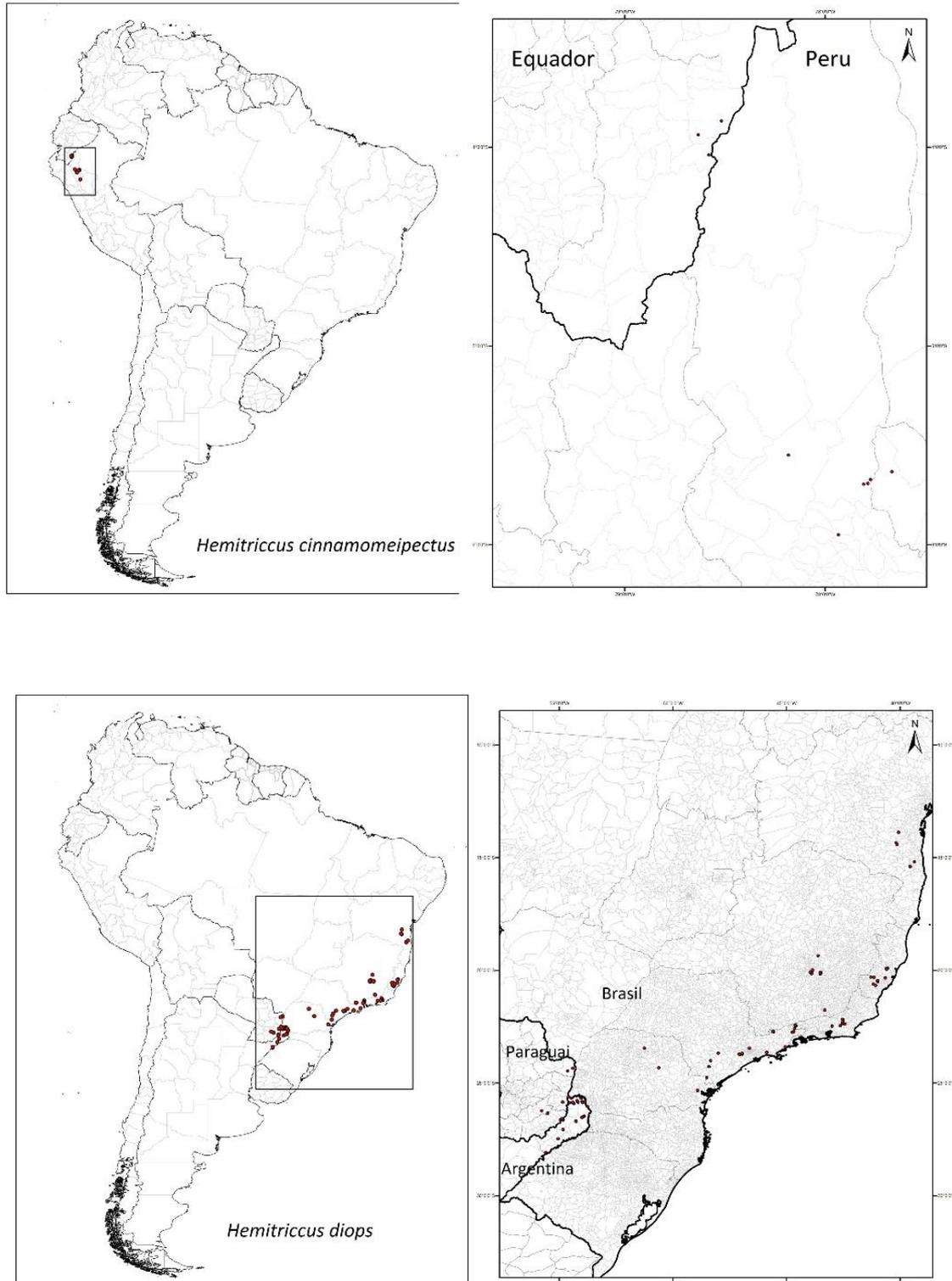
Espécie 1 X Espécie 2	Intersec. Presente	Intersec. Futuro	Dif. Intersec.	Dif. Intersec. (%)
<i>H.cinnamomeipectus</i> X <i>H.granadensis</i>	12.553,72	1.382,19	-11.171,53	-88,99
<i>H.cinnamomeipectus</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	1.953,11	531,00	-1.422,11	-72,81
<i>H.cinnamomeipectus</i> X <i>H.rufigularis</i>	20.253,55	595,47	-19.658,08	-97,06
<i>H.cinnamomeipectus</i> X <i>H.zosterops</i>	17.616,37	680,54	-16.935,83	-96,14
<i>H.diops</i> X <i>H.furcatus</i>	120.627,21	59.548,04	-61.079,17	-50,63
<i>H.diops</i> X <i>H.kaempferi</i>	9.769,57	11.202,28	1.432,71	14,67
<i>H.diops</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	276.783,03	128.985,78	-147.797,25	-53,40
<i>H.diops</i> X <i>H.nidipendulus</i>	353.319,58	117.616,84	-235.702,74	-66,71
<i>H.diops</i> X <i>H.obsoletus</i>	289.632,66	175.172,07	-114.460,59	-39,52
<i>H.diops</i> X <i>H.orbitatus</i>	257.755,55	135.284,26	-122.471,29	-47,51
<i>H.diops</i> X <i>H.striaticollis</i>	6.119,07	0,00	-6.119,07	-100,00
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.granadensis</i>	543,85	293,09	-250,76	-46,11
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.griseipectus</i>	455.897,33	108.555,68	-347.341,65	-76,19
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.iohannis</i>	371.655,09	57.931,32	-313.723,77	-84,41
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	234.035,23	51.531,24	-182.503,99	-77,98
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.minimus</i>	38.845,65	5.740,35	-33.105,30	-85,22
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.minor</i>	53.906,91	0,00	-53.906,91	-100,00
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.rufigularis</i>	137.121,38	40.293,91	-96.827,47	-70,61
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.spodiops</i>	42.973,89	53.230,76	10.256,87	23,87
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.striaticollis</i>	475.694,37	71.224,37	-404.470,00	-85,03
<i>H.flammulatus</i> X <i>H.zosterops</i>	107.107,84	4.509,67	-102.598,17	-95,79
<i>H.furcatus</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	42.568,09	24.092,26	-18.475,83	-43,40
<i>H.furcatus</i> X <i>H.nidipendulus</i>	127.583,87	80.177,56	-47.406,31	-37,16
<i>H.furcatus</i> X <i>H.obsoletus</i>	71.308,42	46.052,28	-25.256,14	-35,42
<i>H.furcatus</i> X <i>H.orbitatus</i>	91.571,90	70.594,41	-20.977,49	-22,91
<i>H.furcatus</i> X <i>H.striaticollis</i>	2.798,82	3.155,75	356,93	12,75
<i>H.granadensis</i> X <i>H.griseipectus</i>	23.179,82	5.614,66	-17.565,16	-75,78
<i>H.granadensis</i> X <i>H.iohannis</i>	1.205,29	0,00	-1.205,29	-100,00
<i>H.granadensis</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	55.349,88	18.307,33	-37.042,55	-66,92
<i>H.granadensis</i> X <i>H.minimus</i>	42,73	0,00	-42,73	-100,00
<i>H.granadensis</i> X <i>H.rufigularis</i>	48.433,43	12.422,08	-36.011,35	-74,35
<i>H.granadensis</i> X <i>H.spodiops</i>	16.831,55	6.729,29	-10.102,26	-60,02
<i>H.granadensis</i> X <i>H.striaticollis</i>	4.045,23	4.816,82	771,59	19,07
<i>H.granadensis</i> X <i>H.zosterops</i>	71.709,74	6.343,75	-65.365,99	-91,15
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.inornatus</i>	2.794,99	0,00	-2.794,99	-100,00
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.iohannis</i>	258.527,97	47.482,18	-211.045,79	-81,63
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.josephinae</i>	4.482,04	0,00	-4.482,04	-100,00
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	203.468,56	104.697,61	-98.770,95	-48,54
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.minimus</i>	32.268,95	805,55	-31.463,40	-97,50
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.minor</i>	175.251,27	0,00	-175.251,27	-100,00
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.mirandae</i>	37.681,21	17.378,33	-20.302,88	-53,88
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.rufigularis</i>	146.123,47	18.297,15	-127.826,32	-87,48
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.spodiops</i>	73.911,16	67.567,59	-6.343,57	-8,58
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.striaticollis</i>	454.138,31	91.371,87	-362.766,44	-79,88
<i>H.griseipectus</i> X <i>H.zosterops</i>	82.549,45	805,55	-81.743,90	-99,02
<i>H.inornatus</i> X <i>H.josephinae</i>	118.694,74	114.514,08	-4.180,66	-3,52
<i>H.inornatus</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	0,00	1.130,09	1.130,09	∞
<i>H.inornatus</i> X <i>H.minimus</i>	151.151,42	80.176,40	-70.975,02	-46,96
<i>H.inornatus</i> X <i>H.minor</i>	142.252,66	70.500,38	-71.752,28	-50,44
<i>H.inornatus</i> X <i>H.striaticollis</i>	25.467,66	13.727,59	-11.740,07	-46,10
<i>H.inornatus</i> X <i>H.zosterops</i>	158.837,93	136.250,58	-22.587,35	-14,22
<i>H.iohannis</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	40.640,03	12.894,38	-27.745,65	-68,27
<i>H.iohannis</i> X <i>H.minimus</i>	133.827,02	112.552,63	-21.274,39	-15,90
<i>H.iohannis</i> X <i>H.minor</i>	38.319,04	0,00	-38.319,04	-100,00
<i>H.iohannis</i> X <i>H.rufigularis</i>	67.627,42	7.926,54	-59.700,88	-88,28
<i>H.iohannis</i> X <i>H.spodiops</i>	8.336,43	8.293,45	-42,98	-0,52
<i>H.iohannis</i> X <i>H.striaticollis</i>	194.605,55	40.978,13	-153.627,42	-78,94
<i>H.iohannis</i> X <i>H.zosterops</i>	300.368,18	113.249,13	-187.119,05	-62,30

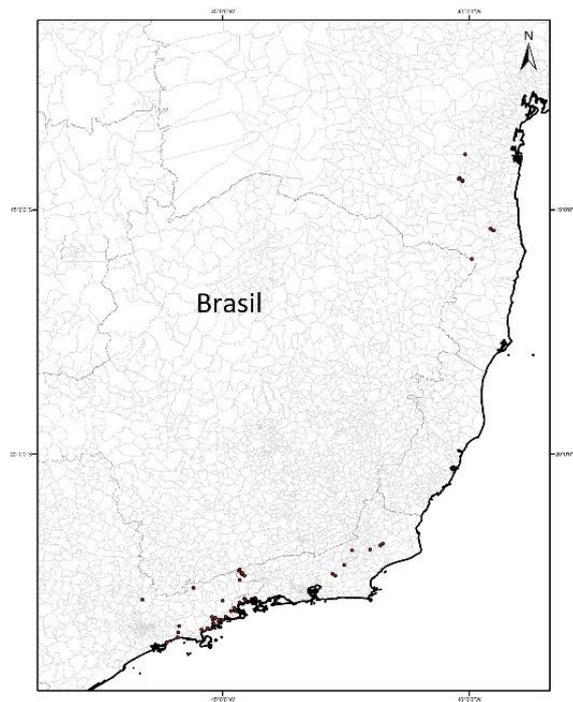
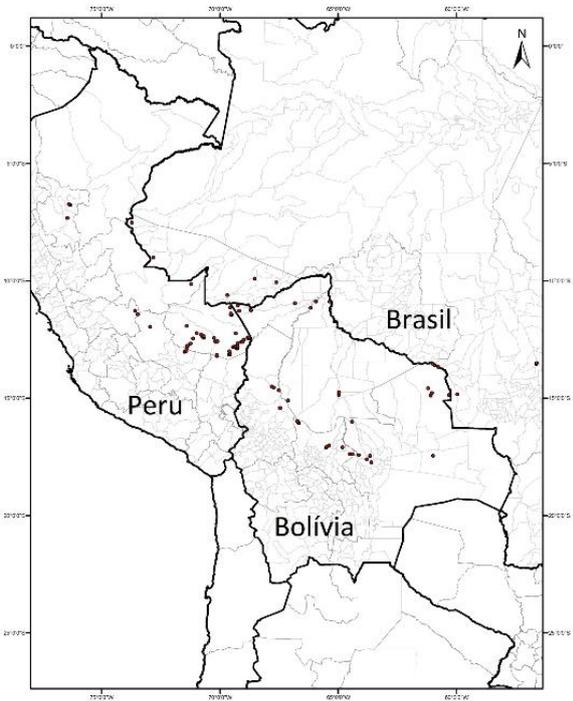
**Tabela S1.4: (cont.)**

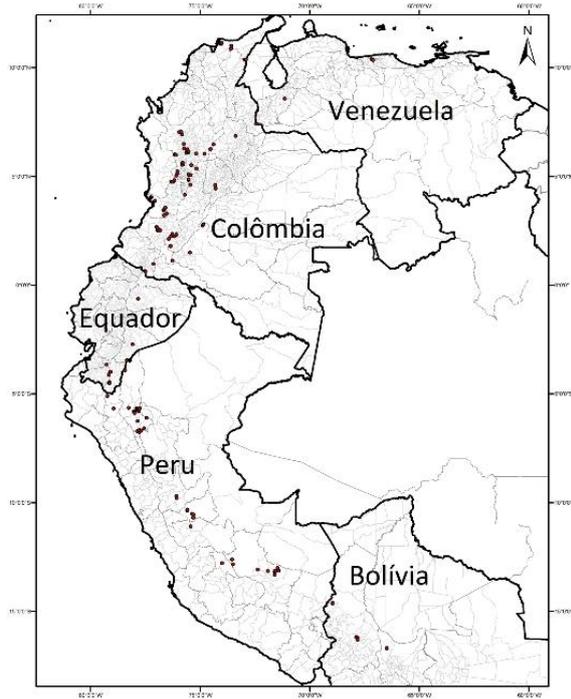
Espécie 1 X Espécie 2	Intersec. Presente	Intersec. Futuro	Dif. Intersec.	Dif. Intersec. (%)
<i>H.josephinae</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	14.159,97	52.525,58	38.365,61	270,94
<i>H.josephinae</i> X <i>H.minimus</i>	151.151,42	129.455,00	-21.696,42	-14,35
<i>H.josephinae</i> X <i>H.minor</i>	129.493,05	87.468,69	-42.024,36	-32,45
<i>H.josephinae</i> X <i>H.striaticollis</i>	104.977,93	140.359,11	35.381,18	33,70
<i>H.josephinae</i> X <i>H.zosterops</i>	386.343,83	676.963,72	290.619,89	75,22
<i>H.kaempferi</i> X <i>H.margaritaceiventer</i>	833,42	3.603,24	2.769,82	332,34
<i>H.kaempferi</i> X <i>H.nidipendulus</i>	5.056,69	2.902,23	-2.154,46	-42,61
<i>H.kaempferi</i> X <i>H.obsoletus</i>	19.539,21	20.445,31	906,10	4,64
<i>H.kaempferi</i> X <i>H.orbitatus</i>	21.462,90	28.027,39	6.564,49	30,59
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.minimus</i>	6.664,31	667.480,24	660.815,93	9915,74
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.minor</i>	4.113,66	138.767,84	134.654,18	3273,34
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.mirandae</i>	45.593,52	19.526,85	-26.066,67	-57,17
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.nidipendulus</i>	151.579,58	72.970,60	-78.608,98	-51,86
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.obsoletus</i>	104.661,13	87.837,44	-16.823,69	-16,07
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.orbitatus</i>	109.585,99	85.283,67	-24.302,32	-22,18
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.rufigularis</i>	37.618,94	6.372,08	-31.246,86	-83,06
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.spodiops</i>	20.572,68	30.110,83	9.538,15	46,36
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.striaticollis</i>	547.643,92	1.781.223,03	1.233.579,11	225,25
<i>H.margaritaceiventer</i> X <i>H.zosterops</i>	1.702,34	191.736,81	190.034,47	11163,13
<i>H.minimus</i> X <i>H.minor</i>	640.926,19	861.312,44	220.386,25	34,39
<i>H.minimus</i> X <i>H.rufigularis</i>	1.211,93	21,09	-1.190,84	-98,26
<i>H.minimus</i> X <i>H.striaticollis</i>	125.960,86	463.817,42	337.856,56	268,22
<i>H.minimus</i> X <i>H.zosterops</i>	510.364,54	1.395.161,43	884.796,89	173,37
<i>H.minor</i> X <i>H.striaticollis</i>	692.021,38	310.968,60	-381.052,78	-55,06
<i>H.minor</i> X <i>H.zosterops</i>	201.556,67	489.277,79	287.721,12	142,75
<i>H.mirandae</i> X <i>H.striaticollis</i>	41.311,45	18.343,83	-22.967,62	-55,60
<i>H.nidipendulus</i> X <i>H.obsoletus</i>	150.384,07	74.975,41	-75.408,66	-50,14
<i>H.nidipendulus</i> X <i>H.orbitatus</i>	253.076,36	160.046,18	-93.030,18	-36,76
<i>H.nidipendulus</i> X <i>H.striaticollis</i>	8.903,02	4.761,05	-4.141,97	-46,52
<i>H.obsoletus</i> X <i>H.orbitatus</i>	203.797,53	143.280,16	-60.517,37	-29,69
<i>H.rufigularis</i> X <i>H.spodiops</i>	47.852,46	3.460,40	-44.392,06	-92,77
<i>H.rufigularis</i> X <i>H.striaticollis</i>	34.115,17	10.787,14	-23.328,03	-68,38
<i>H.rufigularis</i> X <i>H.zosterops</i>	91.833,01	18.795,31	-73.037,70	-79,53
<i>H.spodiops</i> X <i>H.striaticollis</i>	14.783,04	24.752,15	9.969,11	67,44
<i>H.striaticollis</i> X <i>H.zosterops</i>	154.839,22	118.075,61	-36.763,61	-23,74

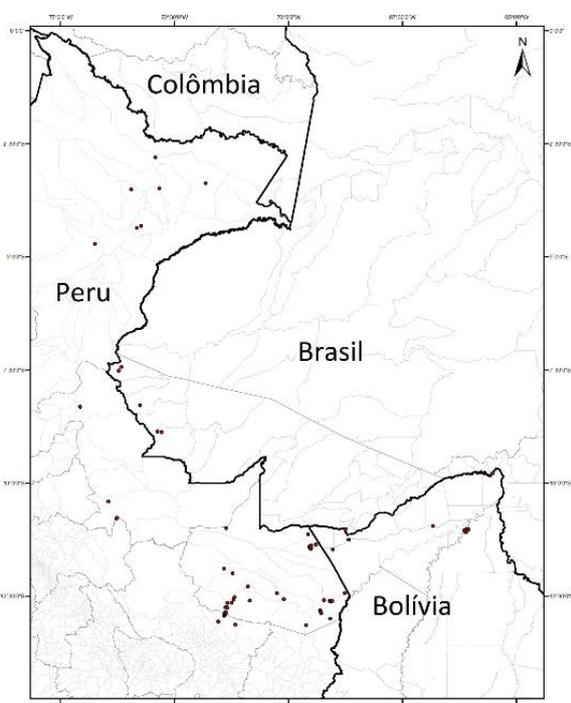
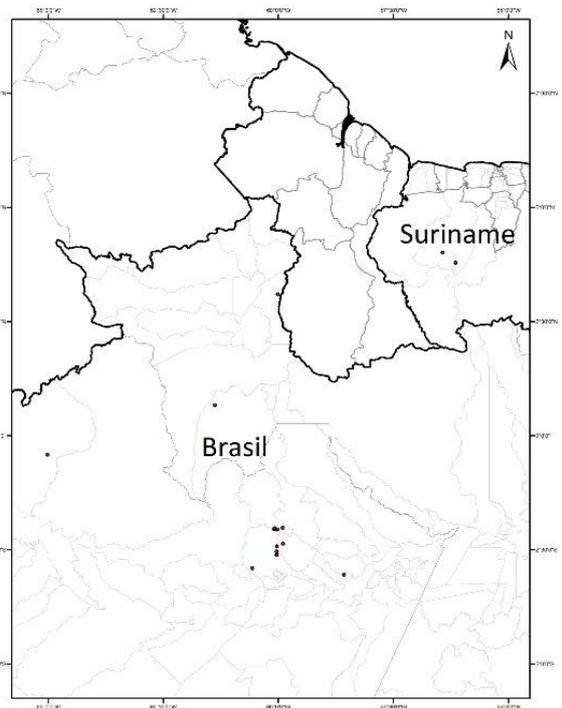
## APÊNDICE 2

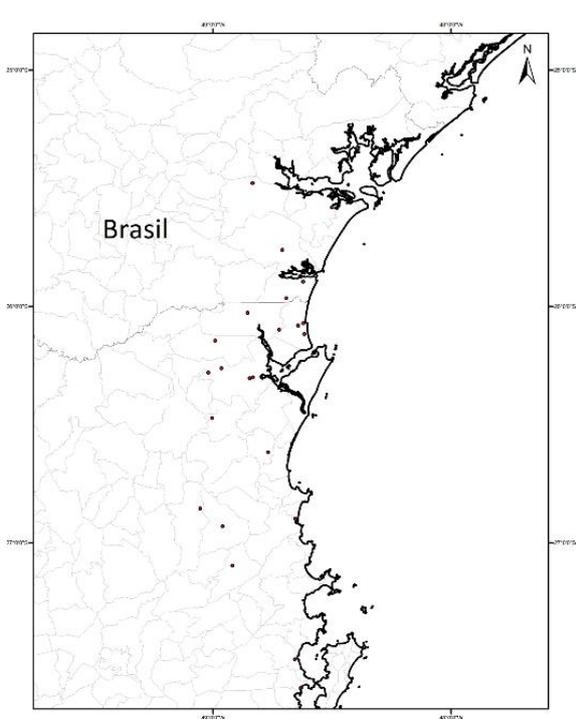
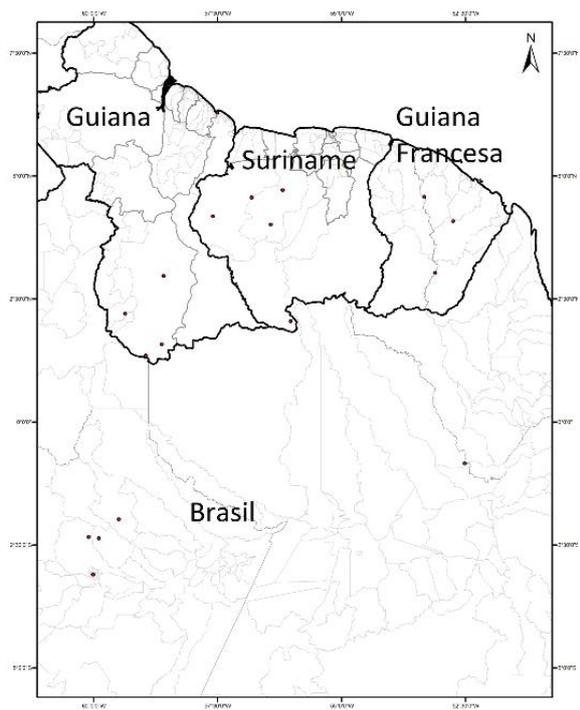
**Figuras S2.1:** Pontos de ocorrência das espécies de *Hemitriccus*.

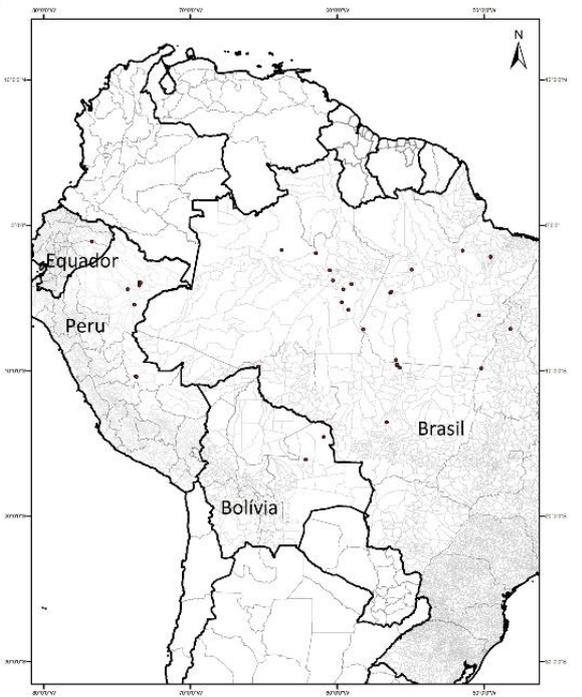
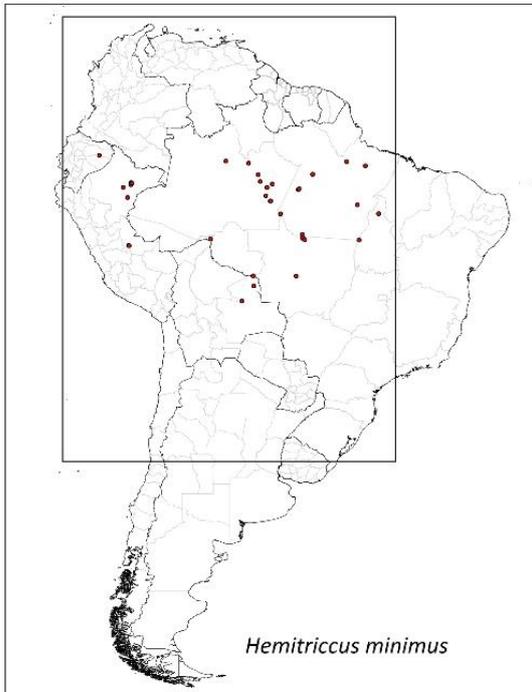
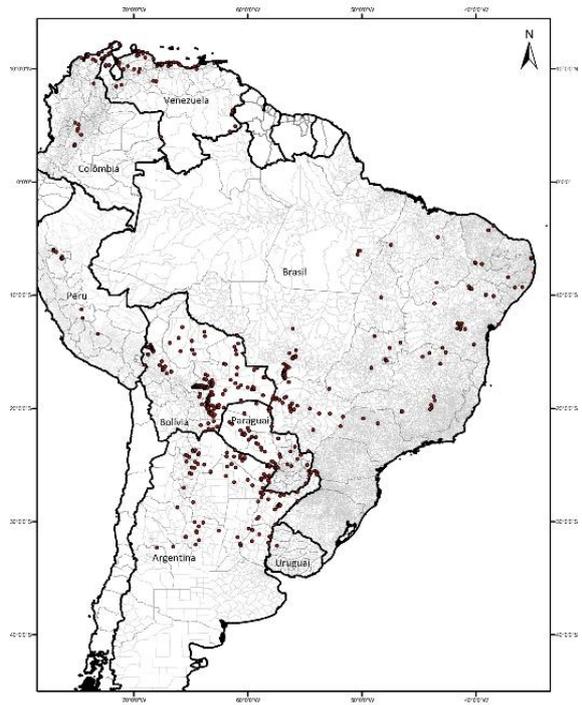
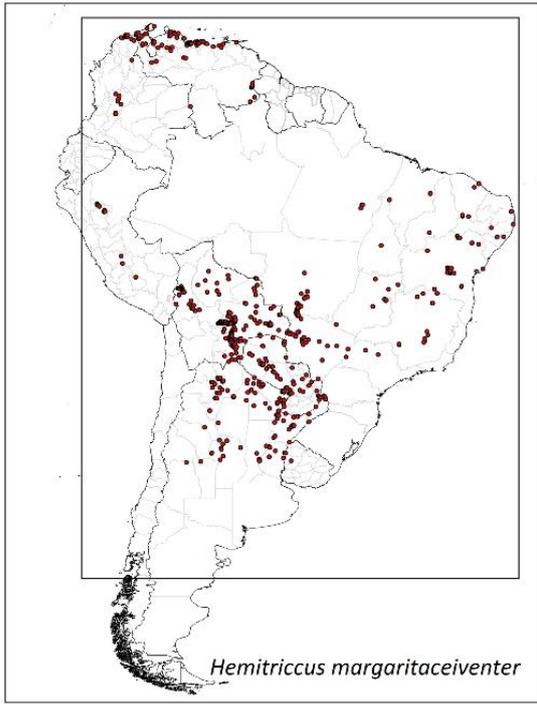


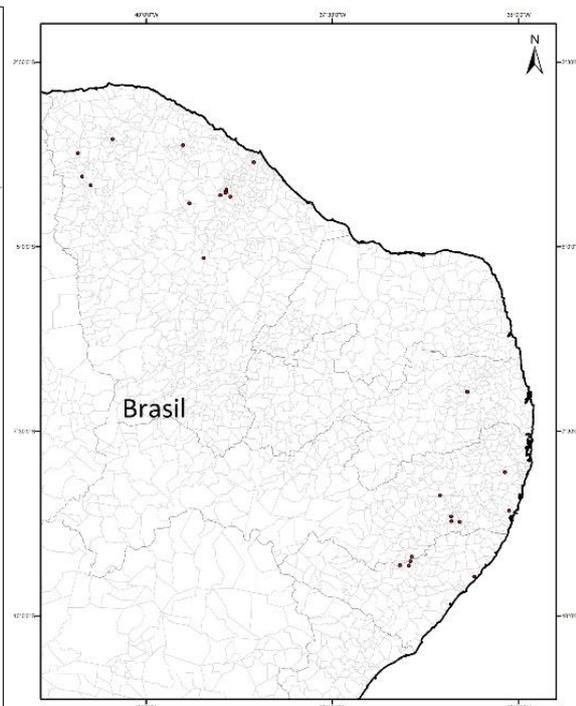
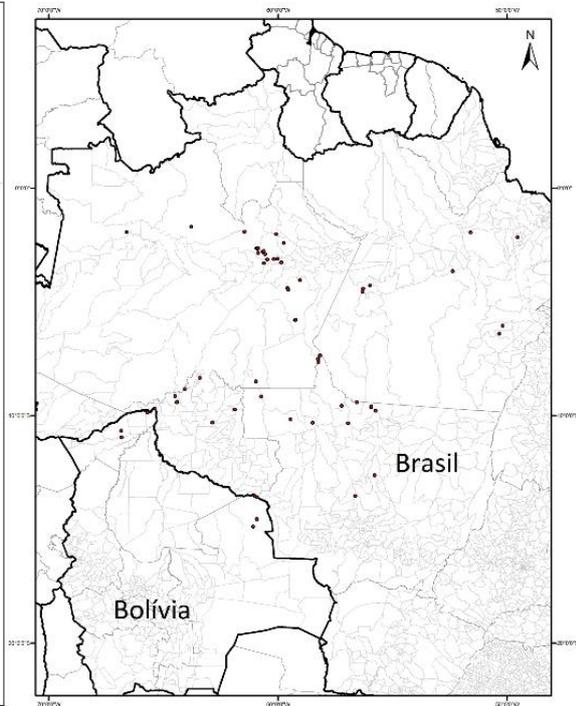
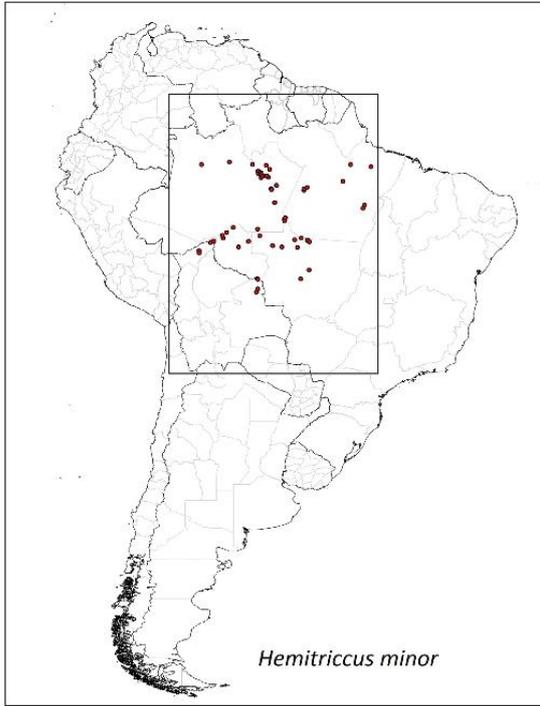


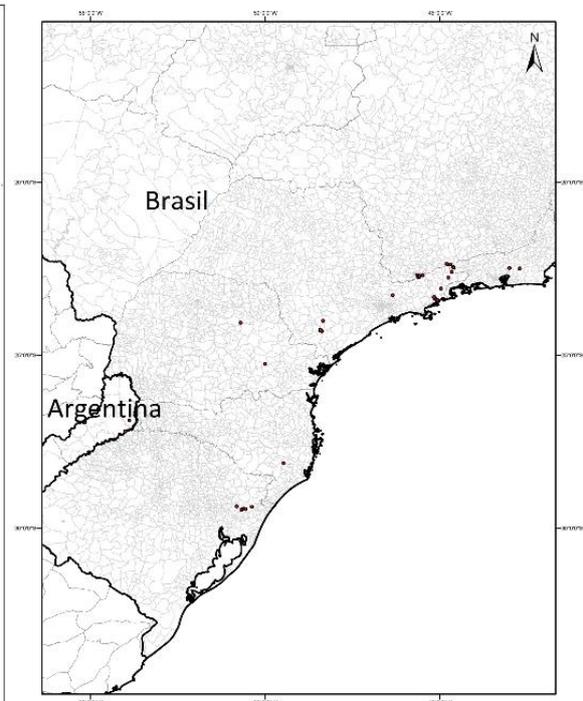
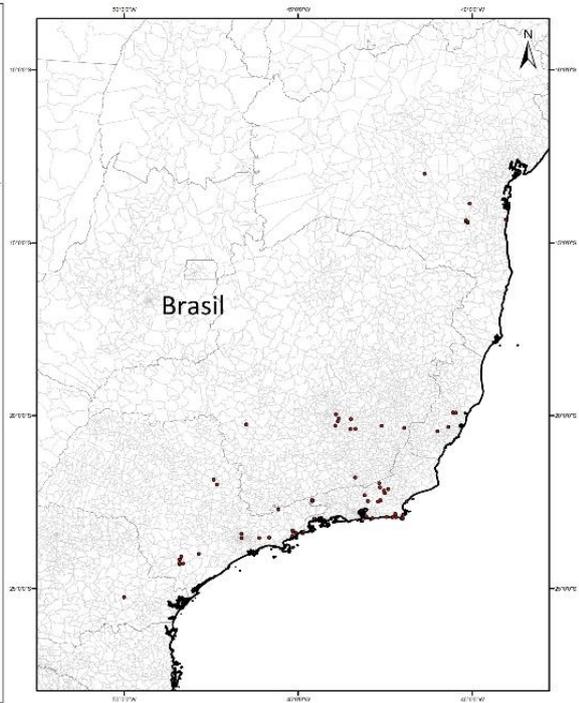


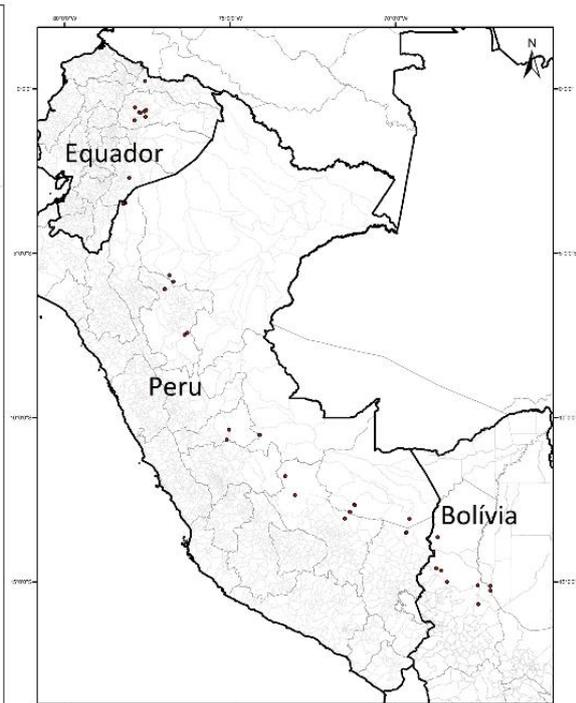
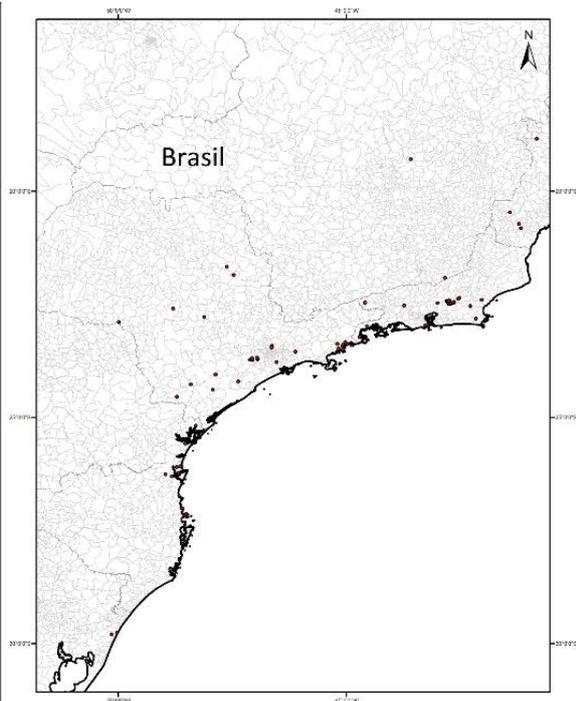
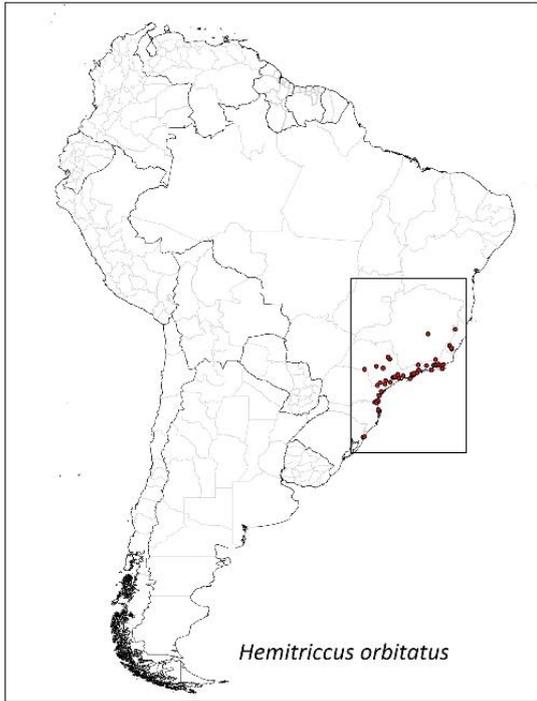


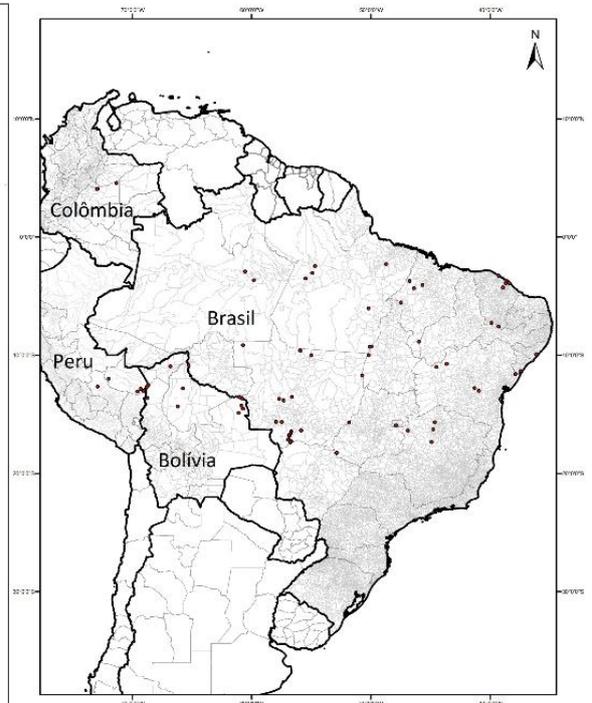
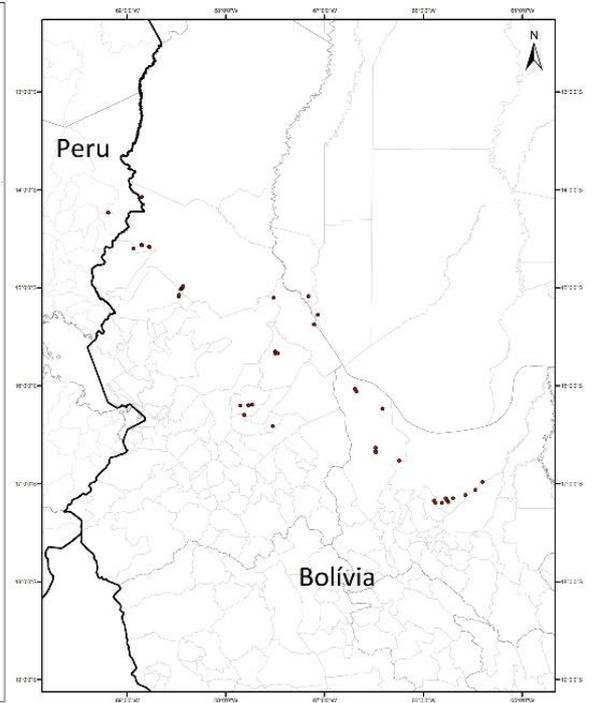


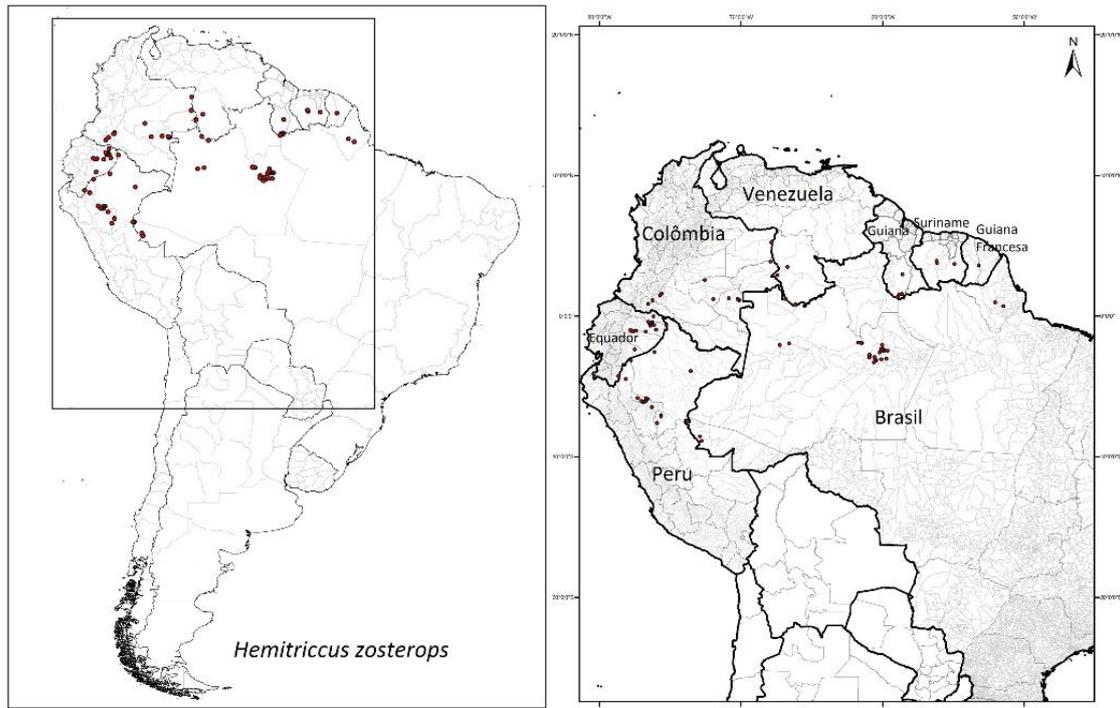








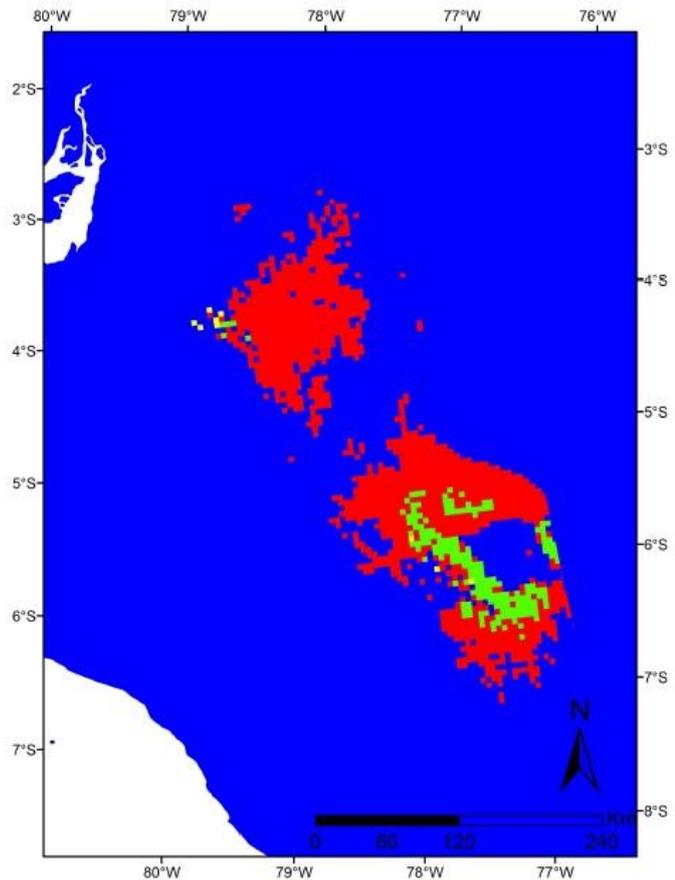
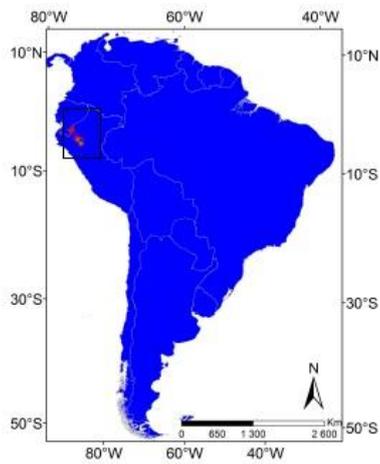




**Figuras S2.2:** Mapas das mudanças na distribuição das áreas predita como adequadas para as espécies de *Hemitriccus* no presente e no futuro, nas extensões de ocorrência das espécies e seu entorno. Em azul - áreas não adequadas tanto no presente quanto no futuro; em verde - áreas adequadas tanto no presente quanto no futuro (áreas estáveis); em amarelo - áreas adequadas apenas no futuro; e em vermelho – áreas adequadas apenas no presente.

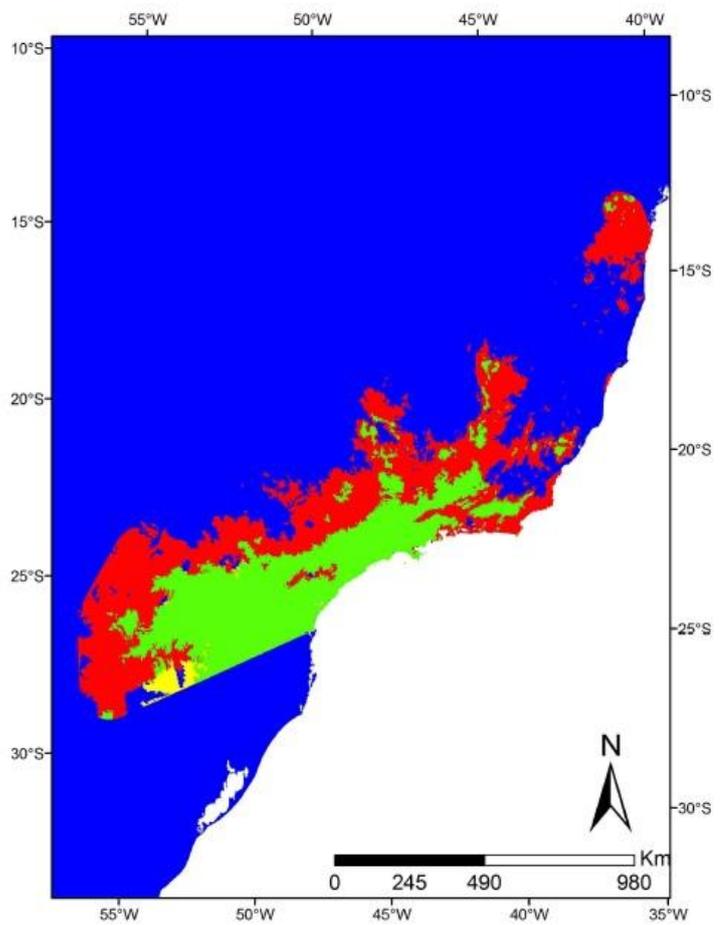
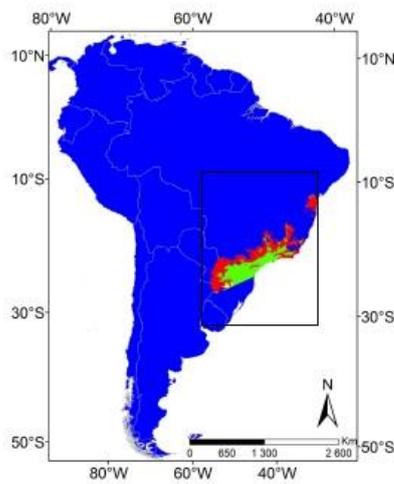
*Hemitriccus cinnamomeipectus*

<i>Hemitriccus cinnamomeipectus</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	88	0,92	0,92	1,00	0,92
CART	20	0,93	0,96	1,00	0,93
FDA	88	0,94	0,94	1,00	0,94
GAM	45	0,97	0,97	1,00	0,97
GLM	88	0,97	0,97	1,00	0,97
MARS	63	0,96	0,97	1,00	0,96
MAXENT	100	1,00	1,00	1,00	1,00
SVM	90	0,99	0,99	1,00	0,99



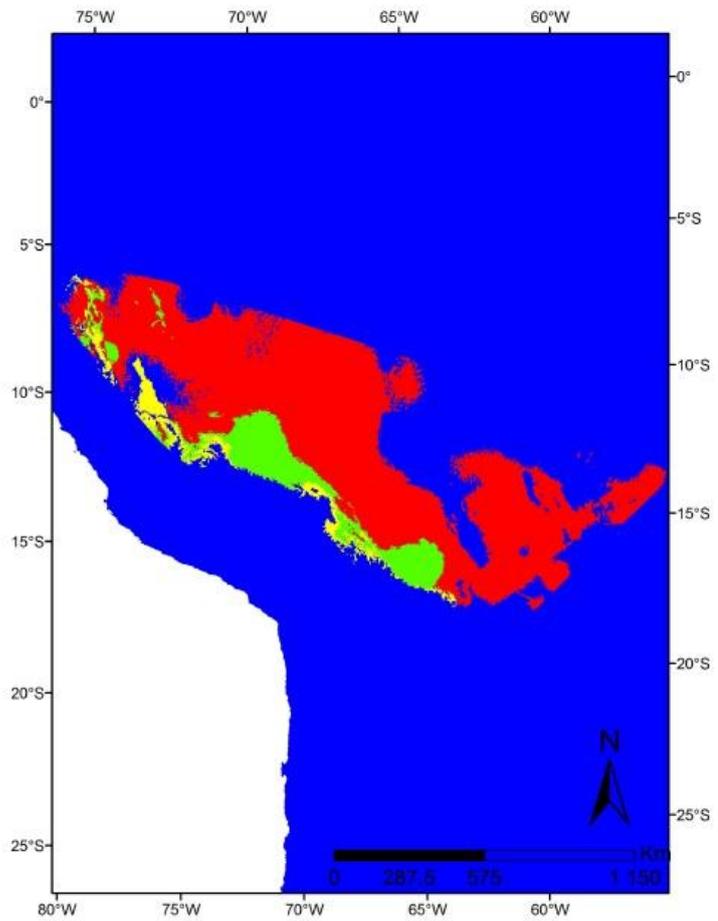
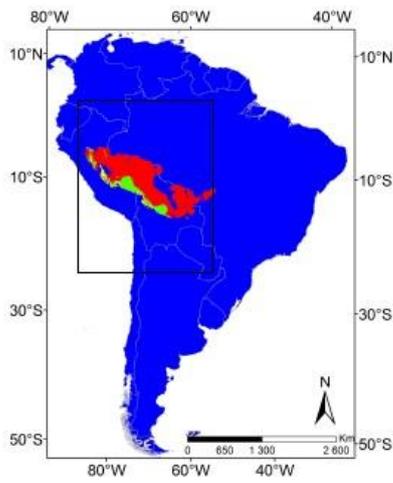
*Hemitriccus diops*

<i>Hemitriccus diops</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	94	0,85	0,92	1,00	0,85
CART	41	0,90	0,95	0,99	0,92
FDA	98	0,86	0,91	1,00	0,86
GAM	40	0,87	0,93	0,91	0,97
GLM	91	0,85	0,91	1,00	0,85
MARS	87	0,90	0,96	1,00	0,90
MAXENT	100	0,96	0,98	1,00	0,96
SVM	98	0,93	0,97	1,00	0,93



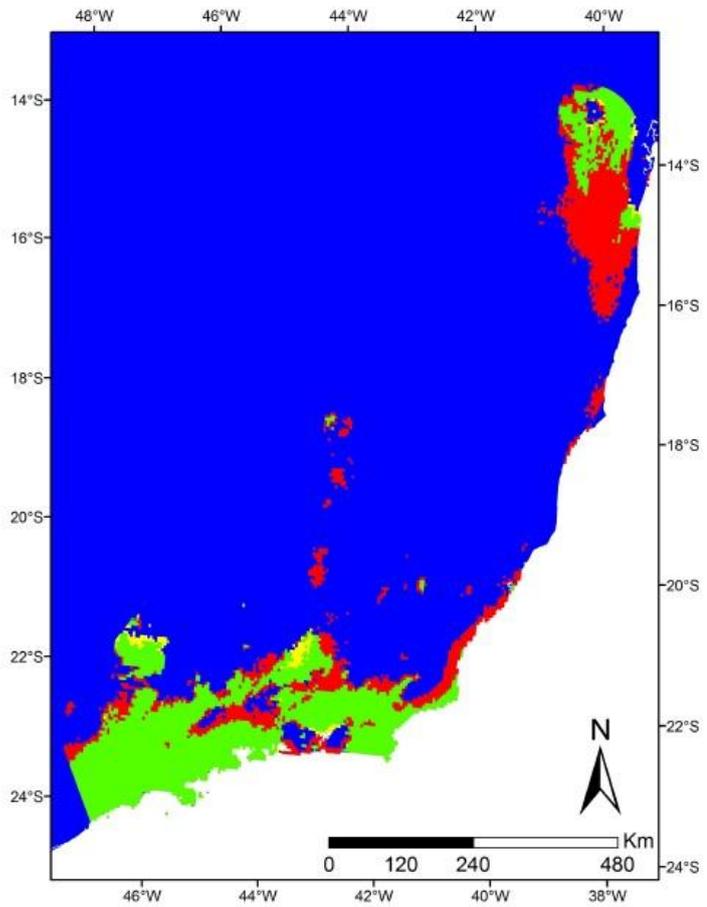
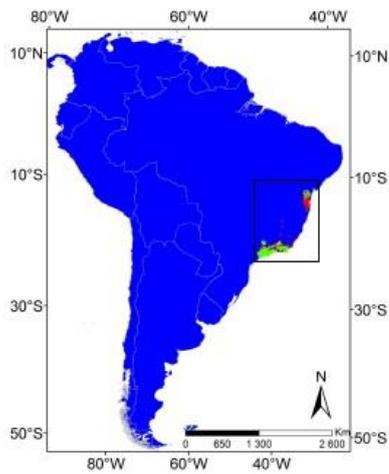
*Hemitriccus flammulatus*

<i>Hemitriccus flammulatus</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	39	0,79	0,90	0,93	0,86
CART	41	0,82	0,91	0,89	0,93
FDA	21	0,82	0,92	0,94	0,88
GAM	73	0,85	0,94	0,96	0,89
GLM	33	0,79	0,90	0,96	0,83
MARS	88	0,86	0,94	0,98	0,88
MAXENT	100	0,91	0,96	1,00	0,91
SVM	75	0,84	0,94	0,96	0,89



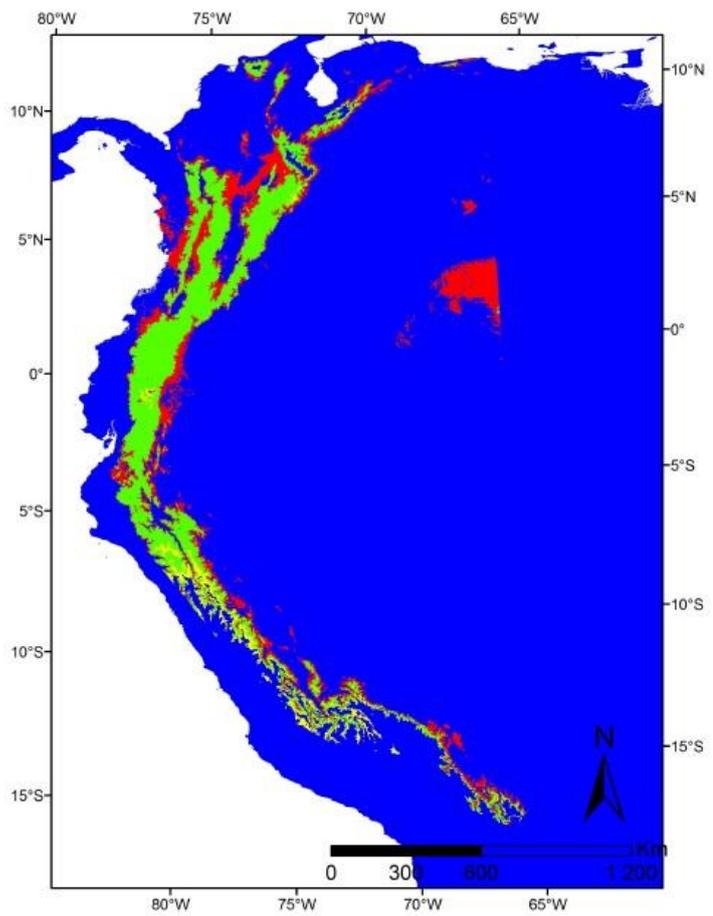
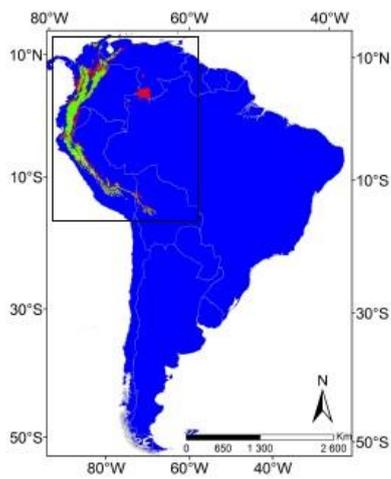
*Hemitriccus furcatus*

<i>Hemitriccus furcatus</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	54	0,86	0,92	0,98	0,88
CART	62	0,88	0,95	0,91	0,97
FDA	57	0,82	0,90	0,99	0,83
GAM	72	0,94	0,97	0,98	0,96
GLM	63	0,82	0,91	0,98	0,84
MARS	99	0,95	0,97	1,00	0,95
MAXENT	100	0,99	0,99	1,00	0,99
SVM	91	0,94	0,97	0,99	0,95



*Hemiriccus ganadensis*

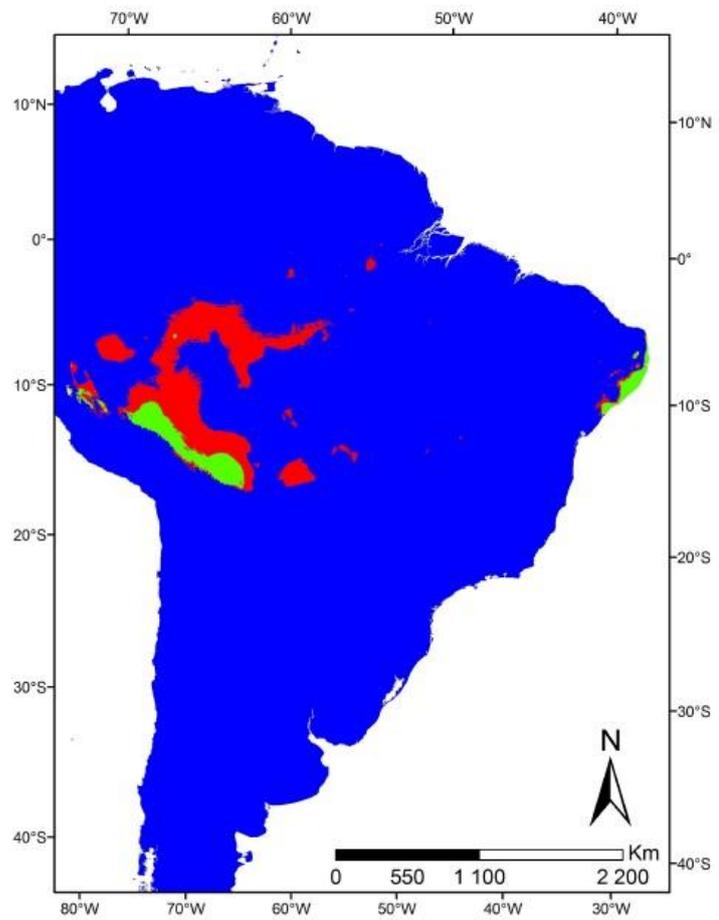
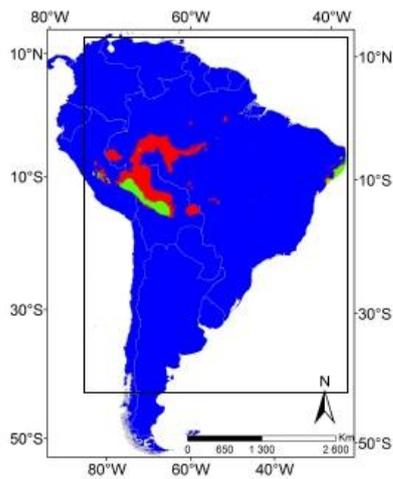
<i>Hemiriccus ganadensis</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	66	0,84	0,94	0,95	0,89
CART	56	0,82	0,90	0,87	0,95
FDA	51	0,80	0,90	0,91	0,89
GAM	89	0,86	0,94	0,93	0,93
GLM	39	0,82	0,93	0,93	0,90
MARS	86	0,87	0,94	0,94	0,93
MAXENT	99	0,93	0,97	0,98	0,95
SVM	81	0,85	0,92	0,91	0,94



*Hemirriccus griseipectus*

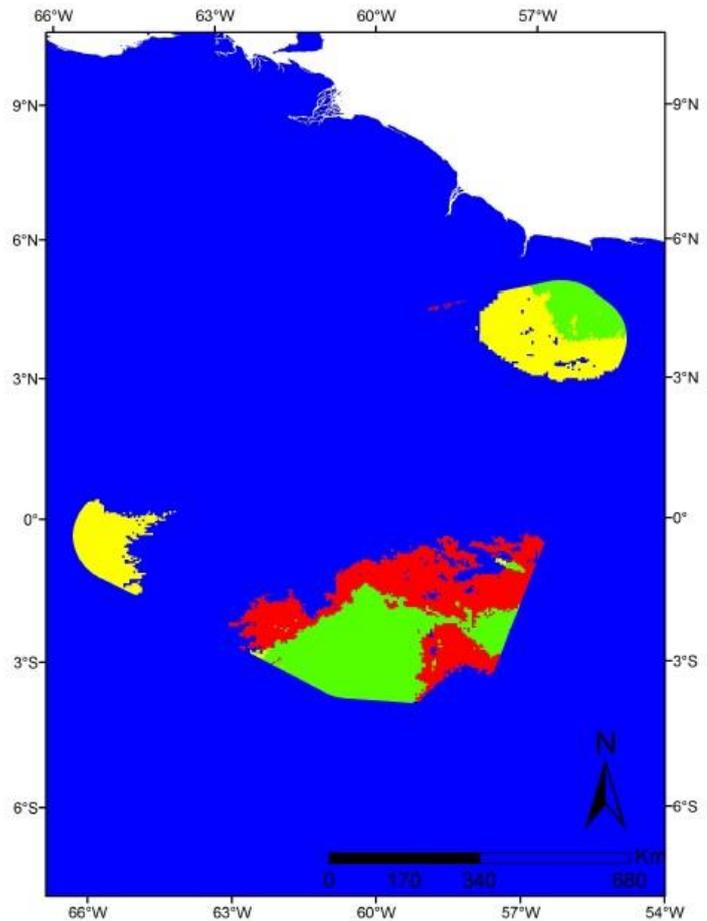
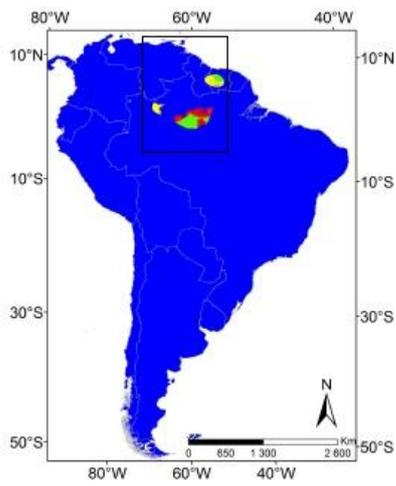
*Hemirriccus griseipectus*

Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	45	0,80	0,90	0,94	0,86
CART	28	0,78	0,88	0,83	0,94
FDA	24	0,81	0,90	0,92	0,89
GAM	48	0,81	0,92	0,90	0,90
GLM	20	0,79	0,88	0,87	0,91
MARS	40	0,80	0,90	0,91	0,88
MAXENT	66	0,82	0,93	0,94	0,88
SVM	50	0,83	0,89	0,88	0,95



*Hemitriccus inornatus*

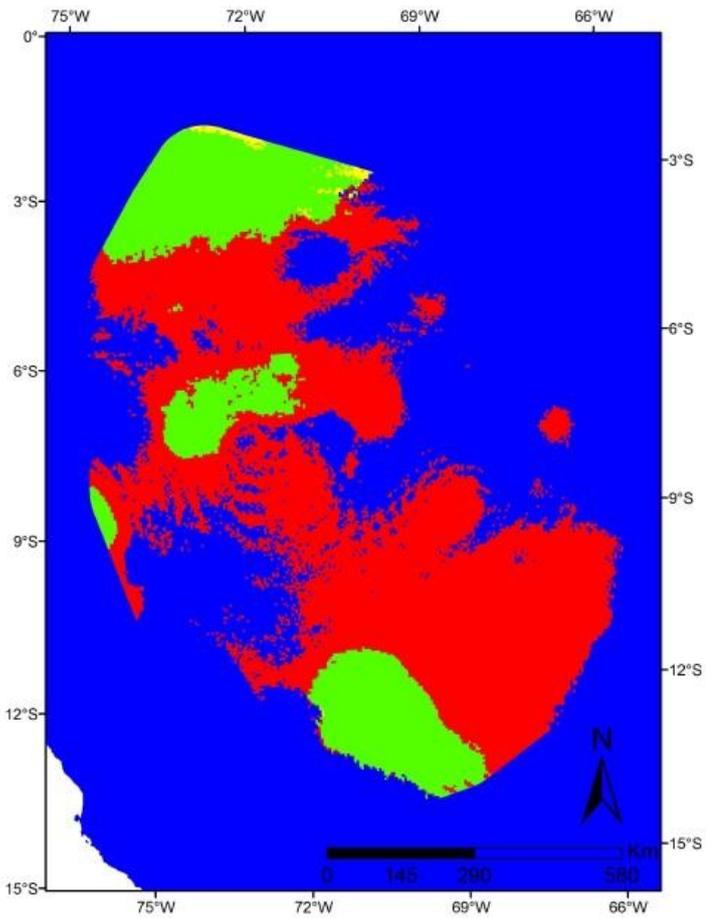
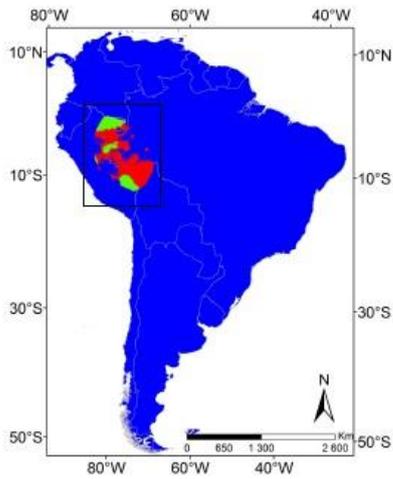
<i>Hemitriccus inornatus</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	67	0,94	0,95	1,00	0,94
CART	41	0,92	0,95	1,00	0,92
FDA	62	0,90	0,91	1,00	0,90
GAM	67	0,94	0,95	1,00	0,94
GLM	61	0,91	0,92	1,00	0,91
MARS	59	0,93	0,94	1,00	0,93
MAXENT	100	0,96	0,97	1,00	0,96
SVM	59	0,95	0,96	1,00	0,95



*Hemitriccus iohannis*

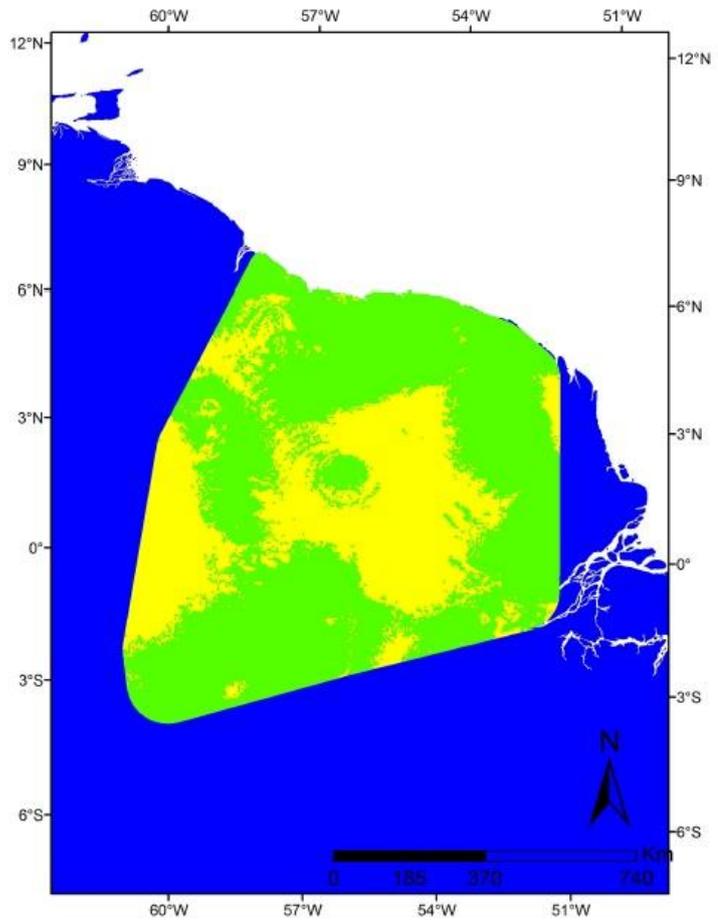
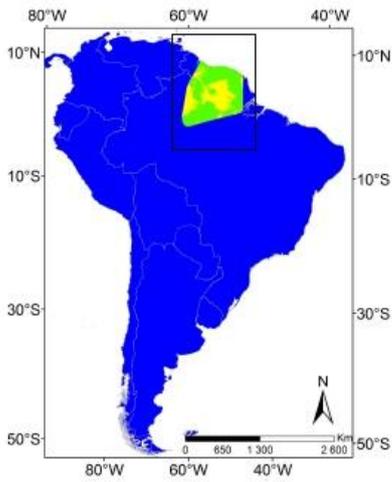
***Hemitriccus iohannis***

Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	45	0,83	0,91	1,00	0,83
CART	28	0,87	0,94	0,98	0,89
FDA	34	0,83	0,91	0,98	0,85
GAM	57	0,84	0,92	0,98	0,86
GLM	32	0,87	0,93	0,99	0,88
MARS	68	0,83	0,92	0,97	0,86
MAXENT	100	0,89	0,95	1,00	0,89
SVM	24	0,87	0,94	0,96	0,91



*Hemitriccus josephinae*

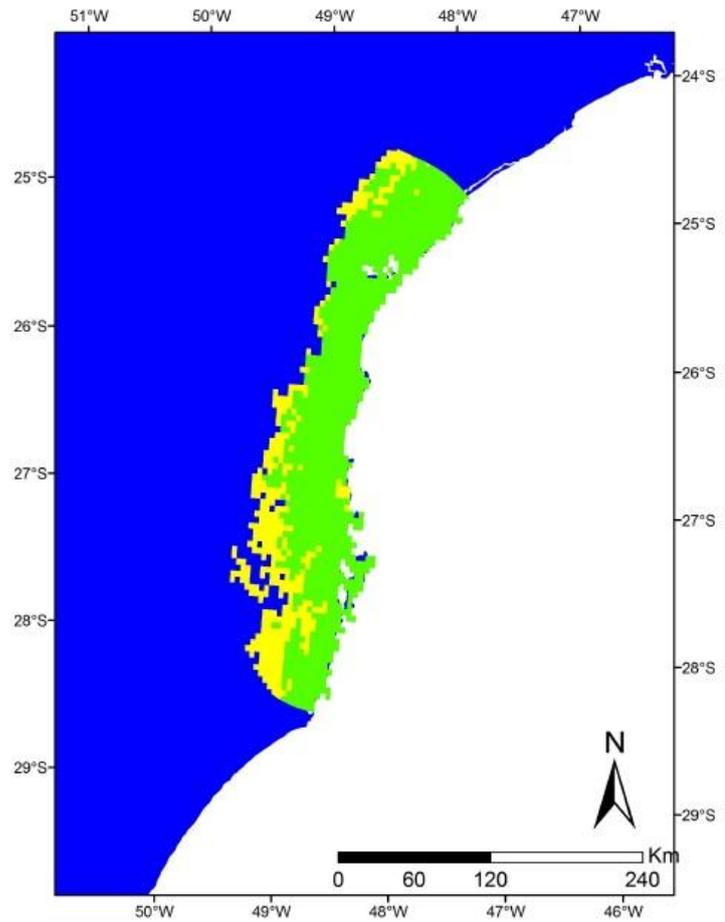
<i>Hemitriccus josephinae</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	49	0,85	0,88	1,00	0,85
CART	53	0,89	0,93	1,00	0,89
FDA	24	0,83	0,86	1,00	0,83
GAM	41	0,86	0,88	1,00	0,86
GLM	18	0,80	0,86	1,00	0,80
MARS	41	0,88	0,91	1,00	0,88
MAXENT	100	0,89	0,92	1,00	0,89
SVM	51	0,87	0,89	1,00	0,87



*Hemitriccus kaempferi*

*Hemitriccus kaempferi*

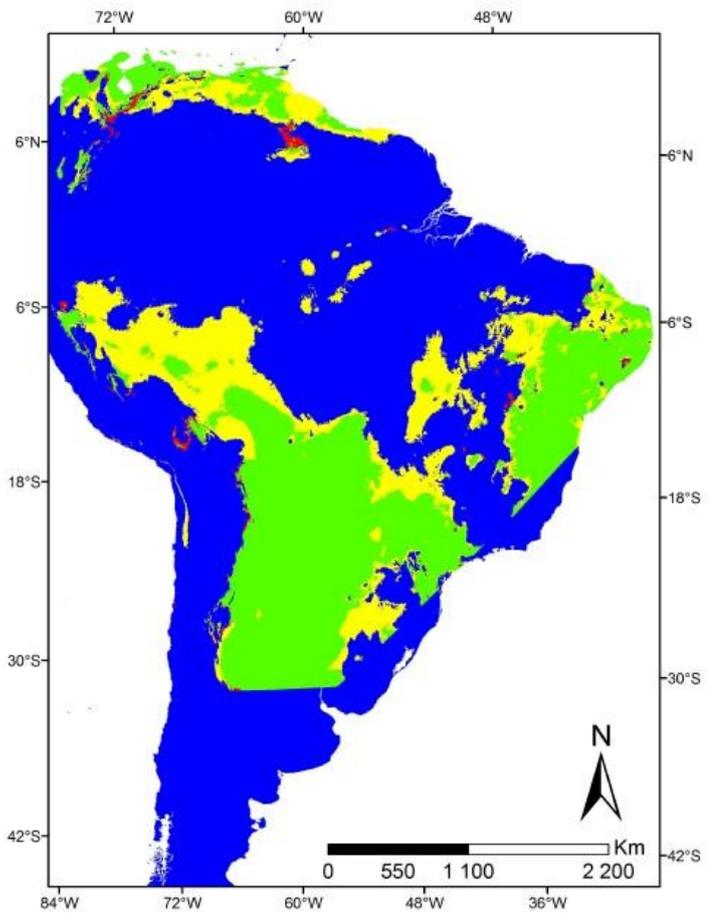
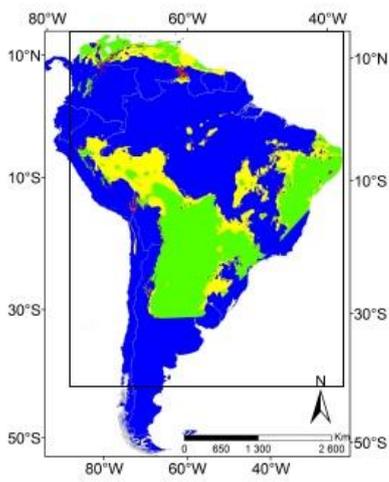
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	100	0,97	0,99	1,00	0,97
CART	66	0,97	0,99	1,00	0,97
FDA	100	0,95	0,97	1,00	0,95
GAM	73	0,97	0,98	1,00	0,97
GLM	100	0,94	0,97	1,00	0,94
MARS	62	0,97	0,98	1,00	0,97
MAXENT	100	1,00	1,00	1,00	1,00
SVM	100	0,99	1,00	1,00	0,99



*Hemitriccus margaritaceiventer*

*Hemitriccus margaritaceiventer*

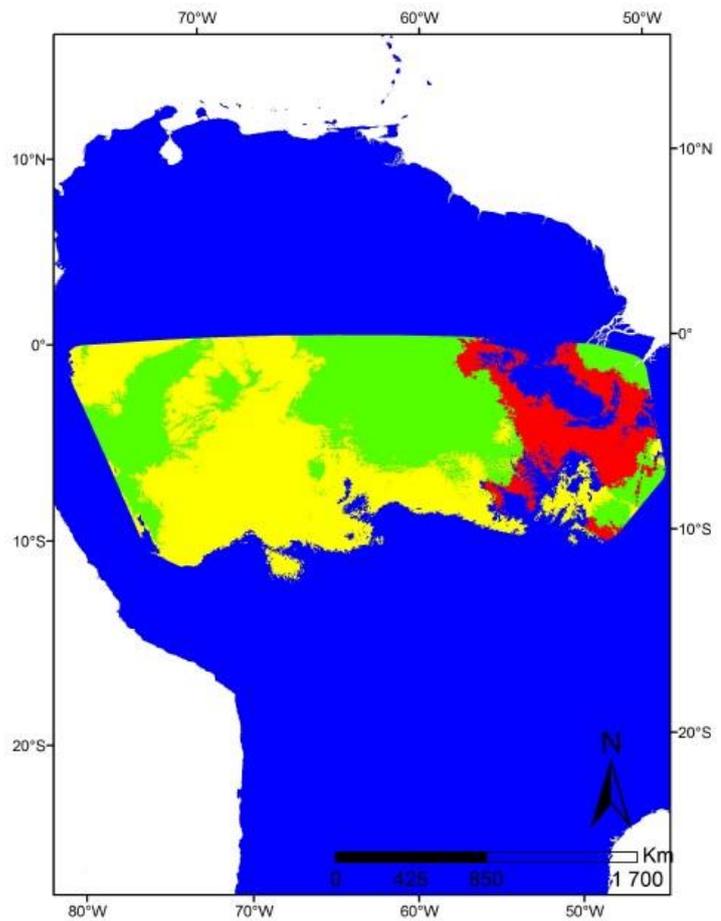
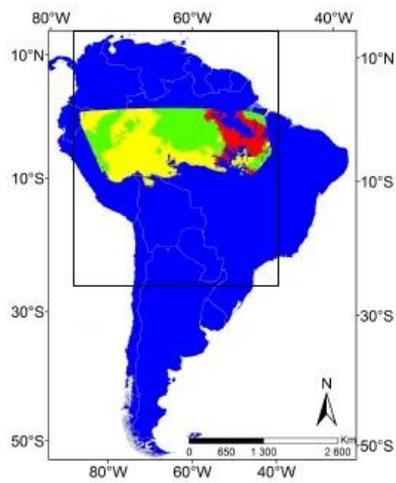
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	4	0,72	0,89	0,87	0,84
CART	2	0,71	0,89	0,91	0,79
FDA	7	0,74	0,90	0,93	0,81
GAM	18	0,75	0,92	0,94	0,81
GLM	2	0,71	0,89	0,83	0,88
MARS	15	0,73	0,91	0,93	0,80
MAXENT	2	0,71	0,88	0,98	0,73
SVM	24	0,75	0,90	0,84	0,92



*Hemitriccus minimus*

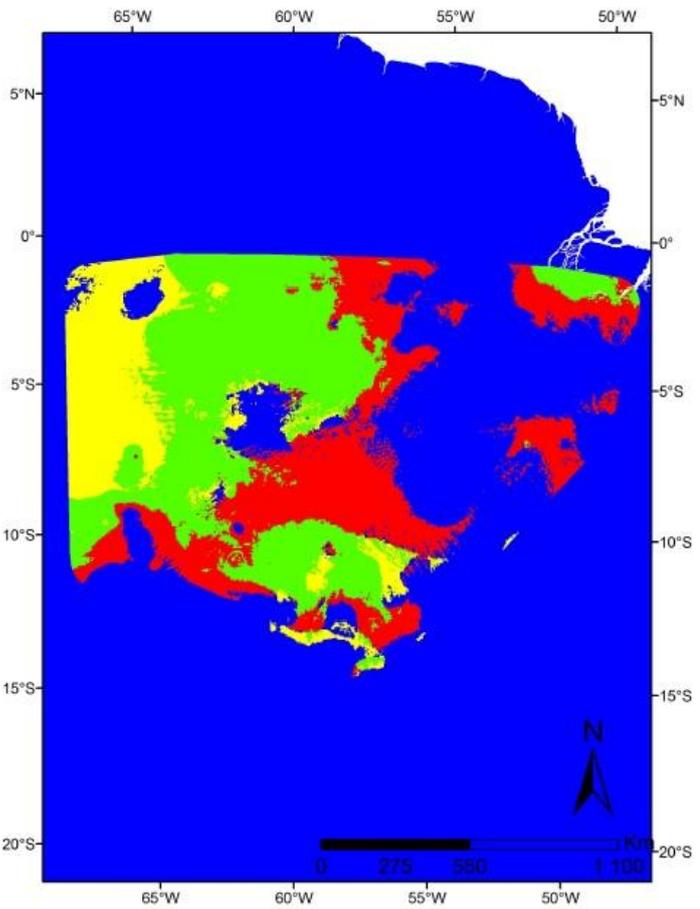
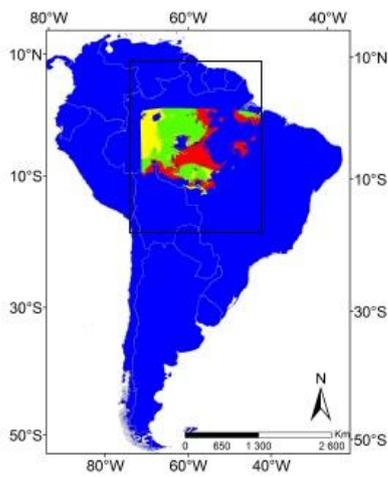
*Hemitriccus minimus*

Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	30	0,84	0,92	0,98	0,86
CART	14	0,79	0,92	0,96	0,83
FDA	19	0,83	0,90	1,00	0,83
GAM	19	0,80	0,89	0,99	0,81
GLM	23	0,80	0,90	1,00	0,80
MARS	15	0,81	0,90	0,98	0,83
MAXENT	37	0,81	0,89	1,00	0,81
SVM	15	0,83	0,90	0,97	0,86



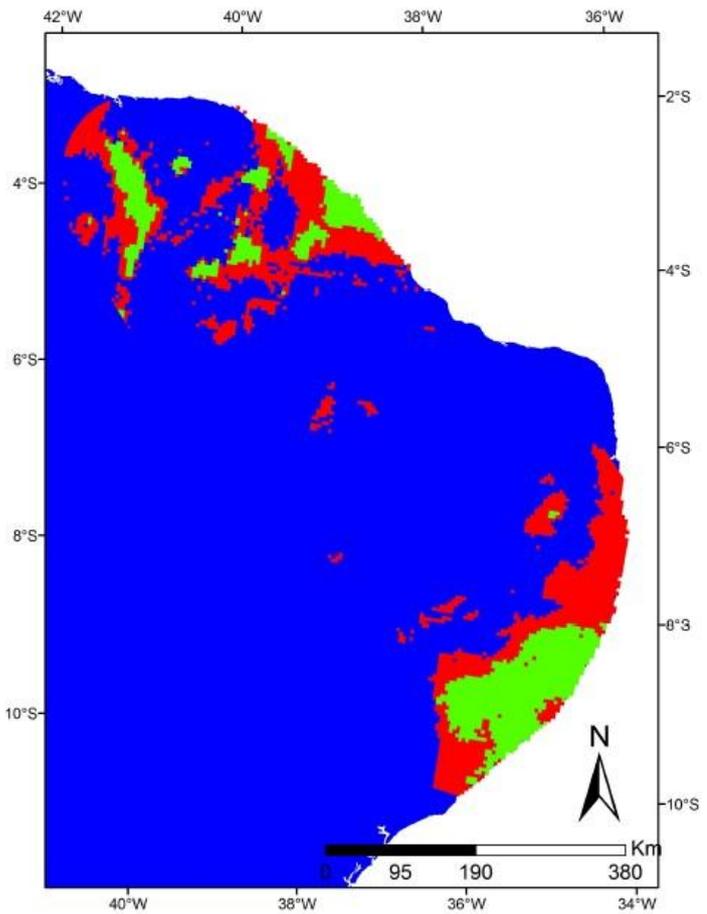
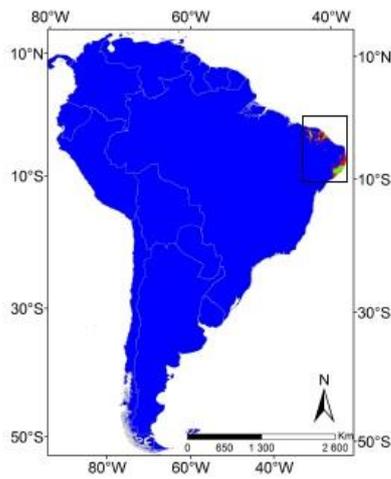
*Hemitriccus minor*

<i>Hemitriccus minor</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	35	0,83	0,89	1,00	0,83
CART	15	0,84	0,94	0,93	0,91
FDA	23	0,78	0,89	0,97	0,82
GAM	39	0,84	0,92	0,99	0,85
GLM	32	0,82	0,90	0,98	0,84
MARS	41	0,85	0,92	0,99	0,85
MAXENT	86	0,84	0,92	1,00	0,84
SVM	36	0,86	0,93	1,00	0,86



*Hemitriccus mirandae*

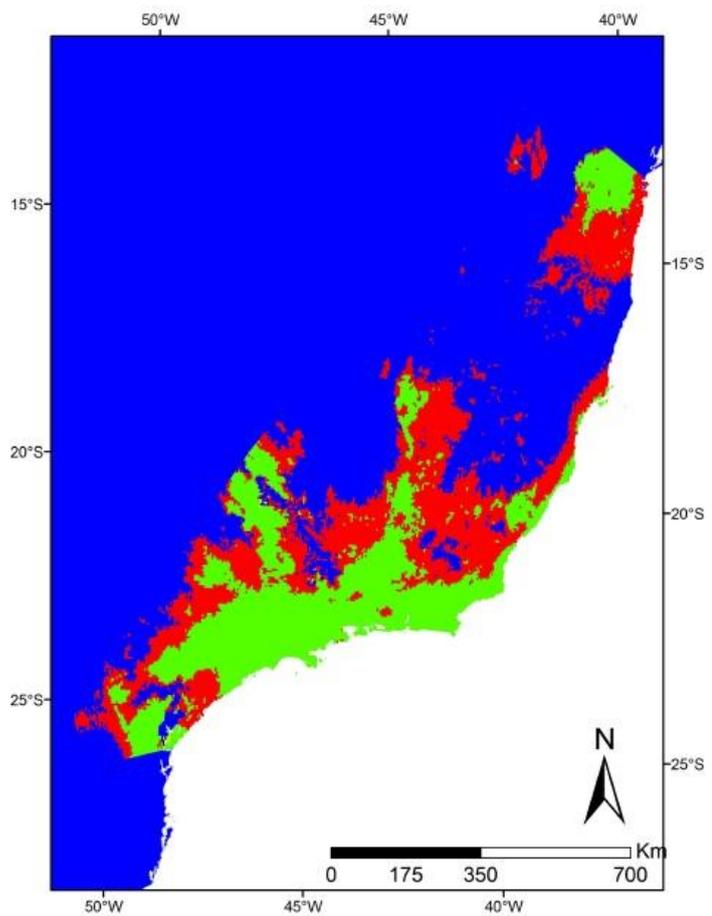
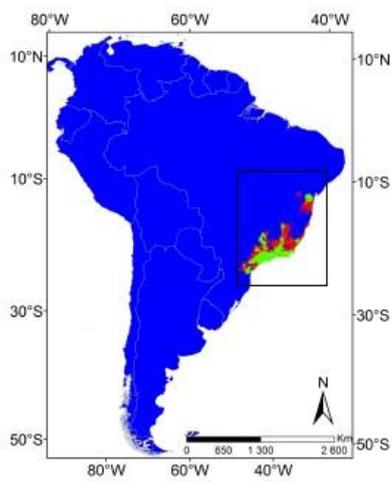
<i>Hemitriccus mirandae</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	92	0,91	0,95	1,00	0,91
CART	60	0,97	0,99	1,00	0,97
FDA	98	0,95	0,97	1,00	0,95
GAM	42	0,97	0,98	1,00	0,97
GLM	93	0,93	0,97	1,00	0,93
MARS	53	0,98	0,99	1,00	0,98
MAXENT	100	0,96	0,99	1,00	0,96
SVM	100	0,98	0,99	1,00	0,98



*Hemitriccus nidipendulus*

***Hemitriccus nidipendulus***

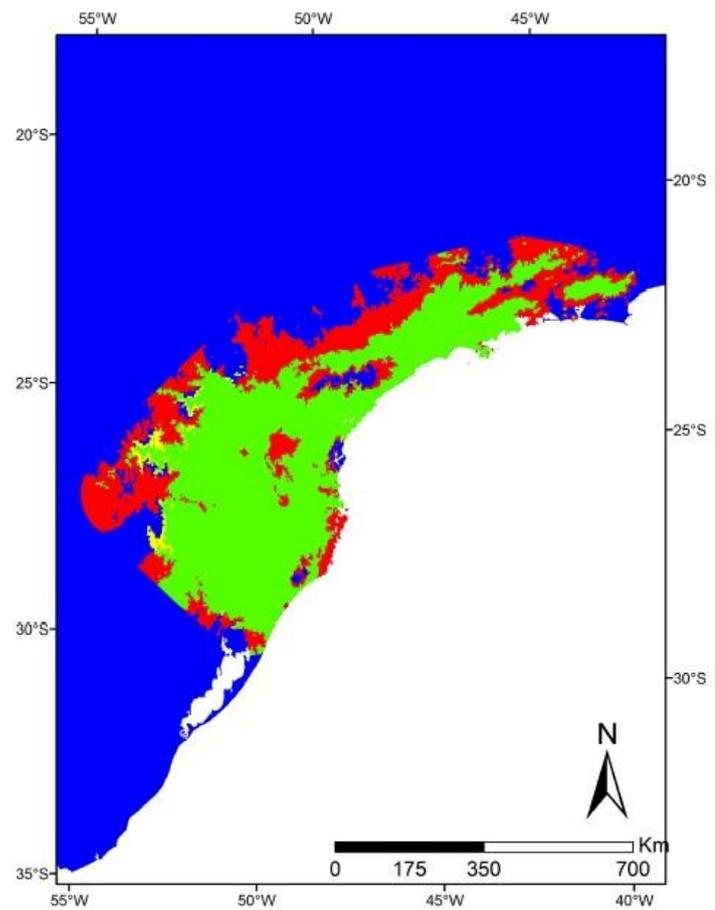
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	97	0,85	0,91	1,00	0,85
CART	60	0,89	0,96	0,96	0,93
FDA	91	0,89	0,95	0,99	0,89
GAM	76	0,94	0,97	0,96	0,98
GLM	89	0,91	0,96	1,00	0,91
MARS	40	0,94	0,97	0,98	0,97
MAXENT	100	0,96	0,98	1,00	0,96
SVM	100	0,96	0,99	1,00	0,96



*Hemitriccus obsoletus*

***Hemitriccus obsoletus***

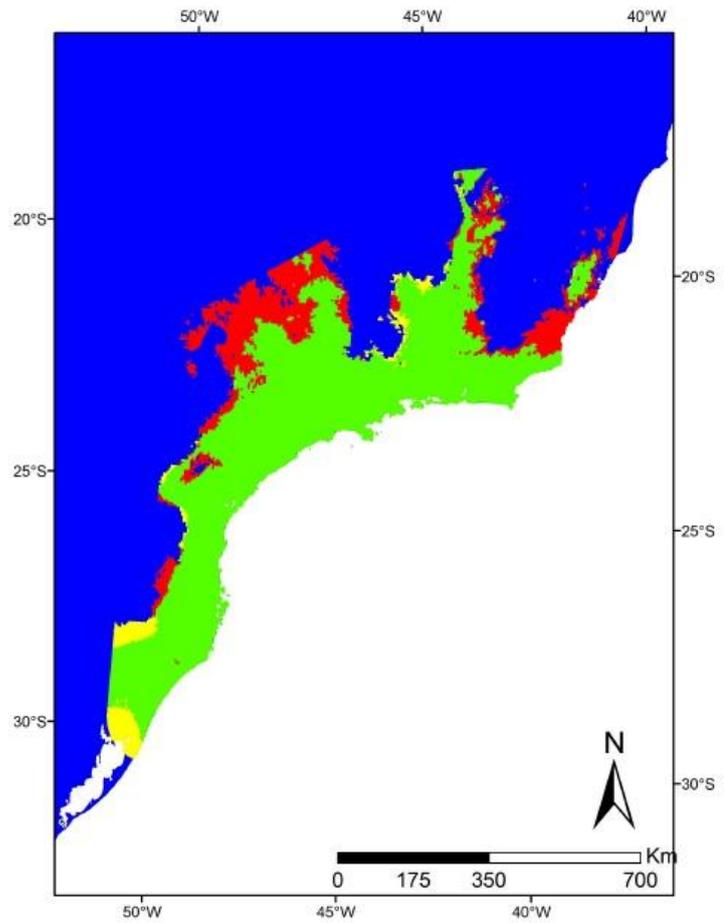
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	97	0,90	0,95	1,00	0,90
CART	66	0,89	0,96	0,98	0,91
FDA	98	0,90	0,96	1,00	0,90
GAM	94	0,92	0,96	0,98	0,94
GLM	100	0,91	0,96	1,00	0,91
MARS	88	0,90	0,95	0,99	0,91
MAXENT	100	0,97	0,99	1,00	0,97
SVM	83	0,93	0,96	0,98	0,95



*Hemiriccus orbitatus*

***Hemiriccus orbitatus***

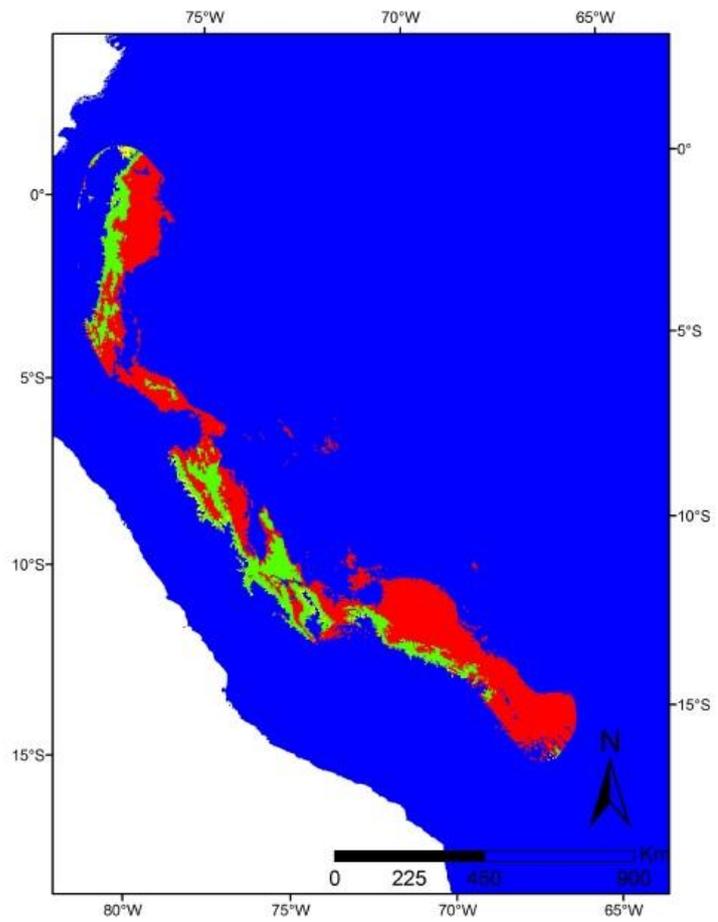
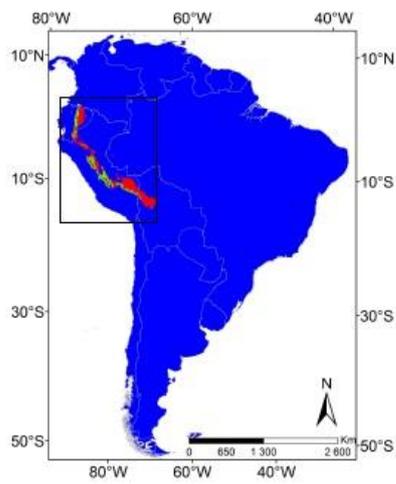
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	78	0,90	0,96	0,99	0,91
CART	59	0,91	0,94	0,92	0,98
FDA	85	0,92	0,97	0,99	0,92
GAM	68	0,91	0,97	0,98	0,93
GLM	77	0,91	0,96	0,98	0,93
MARS	92	0,90	0,96	0,99	0,91
MAXENT	100	0,96	0,98	1,00	0,96
SVM	79	0,93	0,96	0,96	0,97



*Hemitriccus rufigularis*

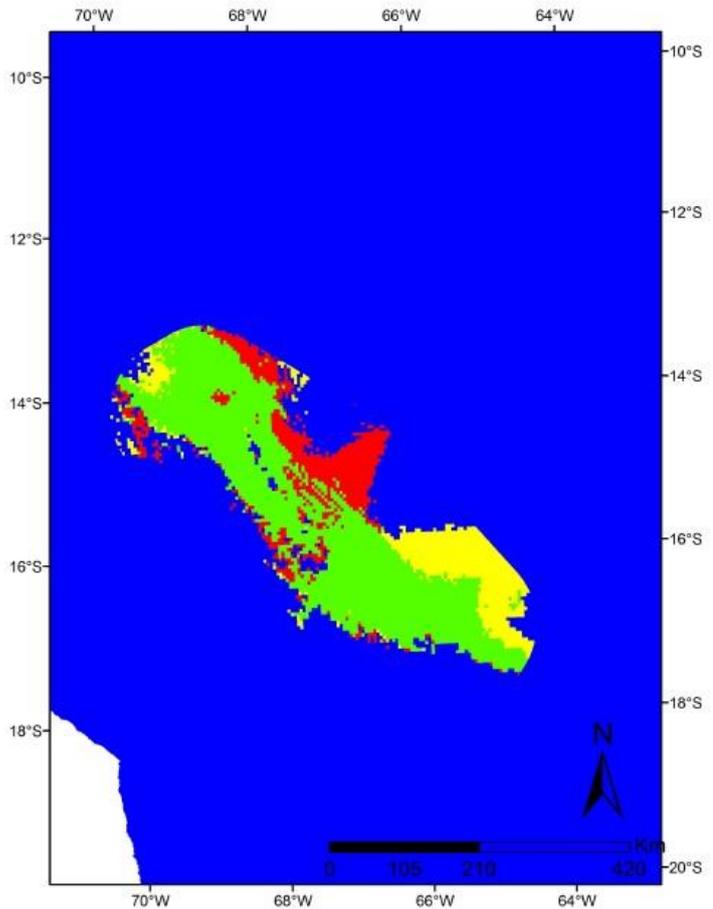
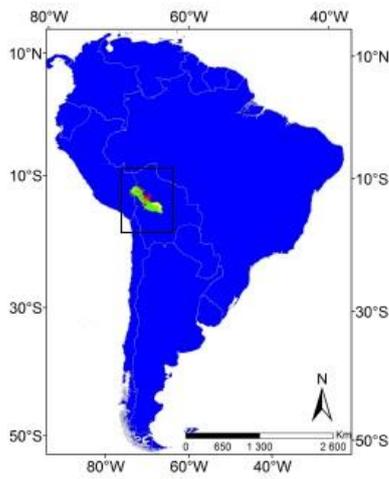
*Hemitriccus rufigularis*

Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	61	0,86	0,91	1,00	0,81
CART	29	0,91	0,94	0,97	0,91
FDA	14	0,81	0,90	0,96	0,82
GAM	86	0,89	0,95	1,00	0,82
GLM	15	0,80	0,90	0,98	0,82
MARS	78	0,89	0,95	0,99	0,91
MAXENT	99	0,90	0,95	1,00	0,91
SVM	82	0,90	0,95	0,98	0,91



*Hemiriccus spodiops*

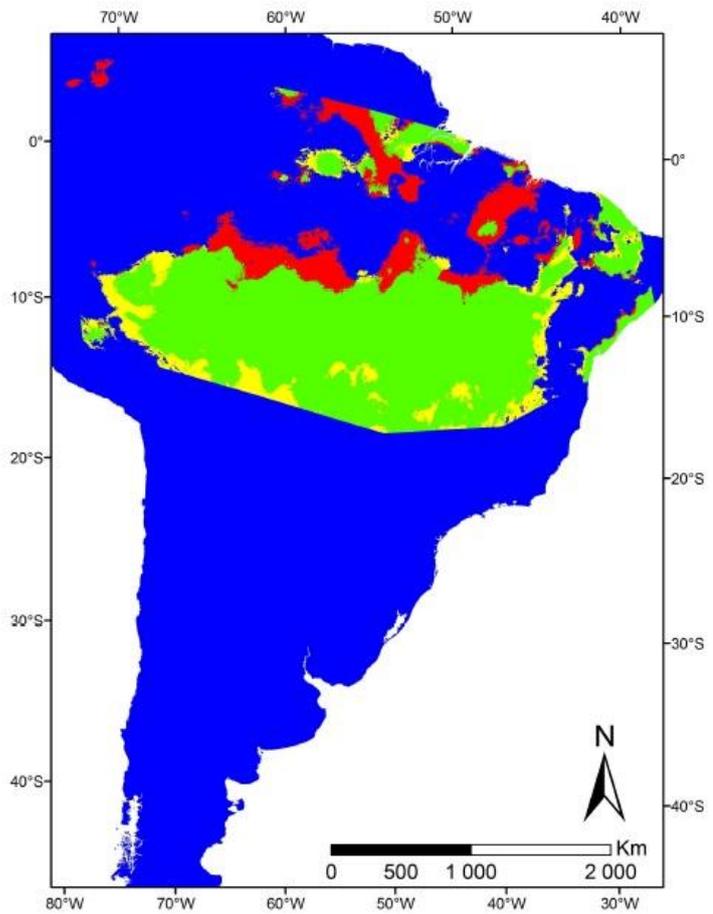
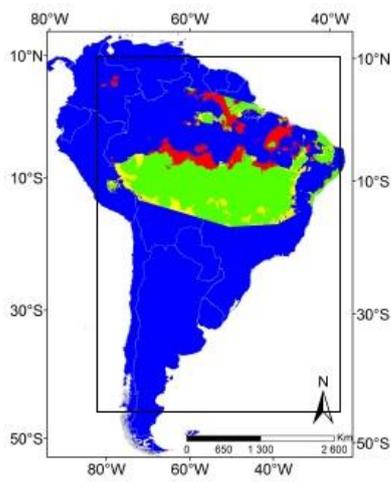
<i>Hemiriccus spodiops</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	45	0,83	0,91	1,00	0,83
CART	13	0,86	0,93	0,88	0,97
FDA	25	0,76	0,81	1,00	0,76
GAM	57	0,87	0,94	0,96	0,91
GLM	19	0,75	0,79	1,00	0,75
MARS	81	0,91	0,97	0,98	0,92
MAXENT	100	0,97	0,99	1,00	0,97
SVM	87	0,95	0,98	0,99	0,96



*Hemiriccus striaticollis*

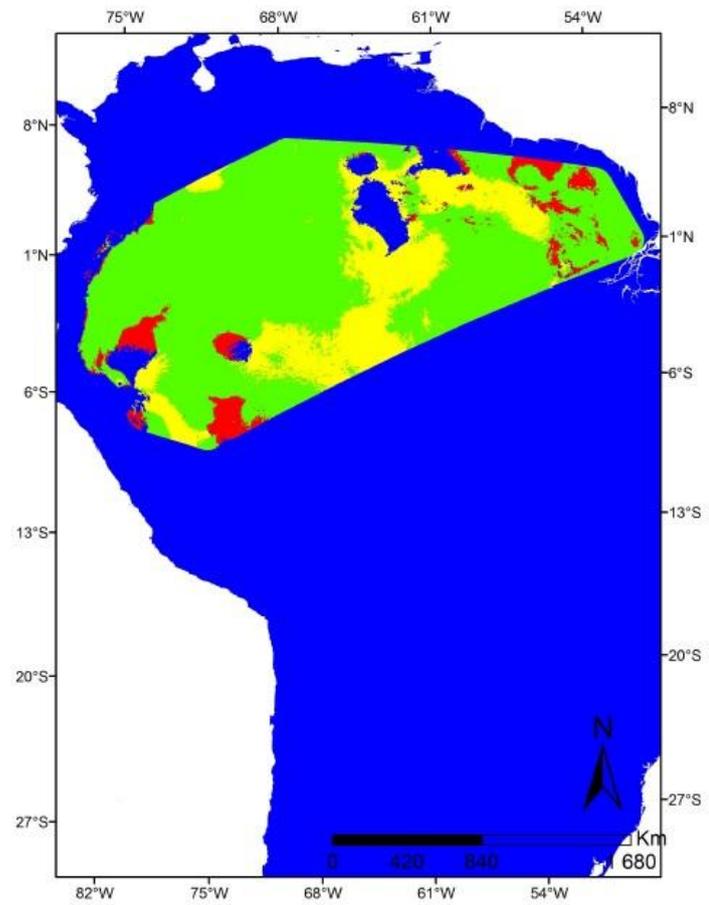
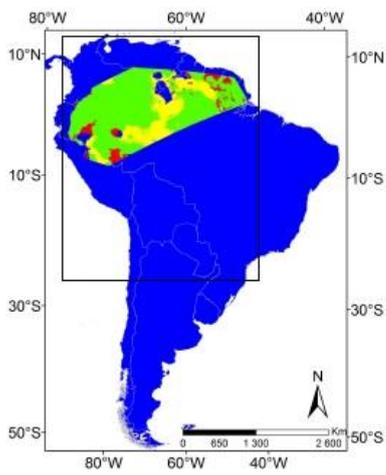
*Hemiriccus striaticollis*

Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	4	0,76	0,86	0,95	0,81
CART	2	0,72	0,83	0,82	0,91
FDA	3	0,75	0,86	0,94	0,80
GAM	3	0,77	0,87	1,00	0,77
GLM	2	0,74	0,87	0,92	0,82
MARS	4	0,75	0,87	0,95	0,80
MAXENT	12	0,76	0,88	0,99	0,78
SVM	9	0,78	0,90	0,89	0,89



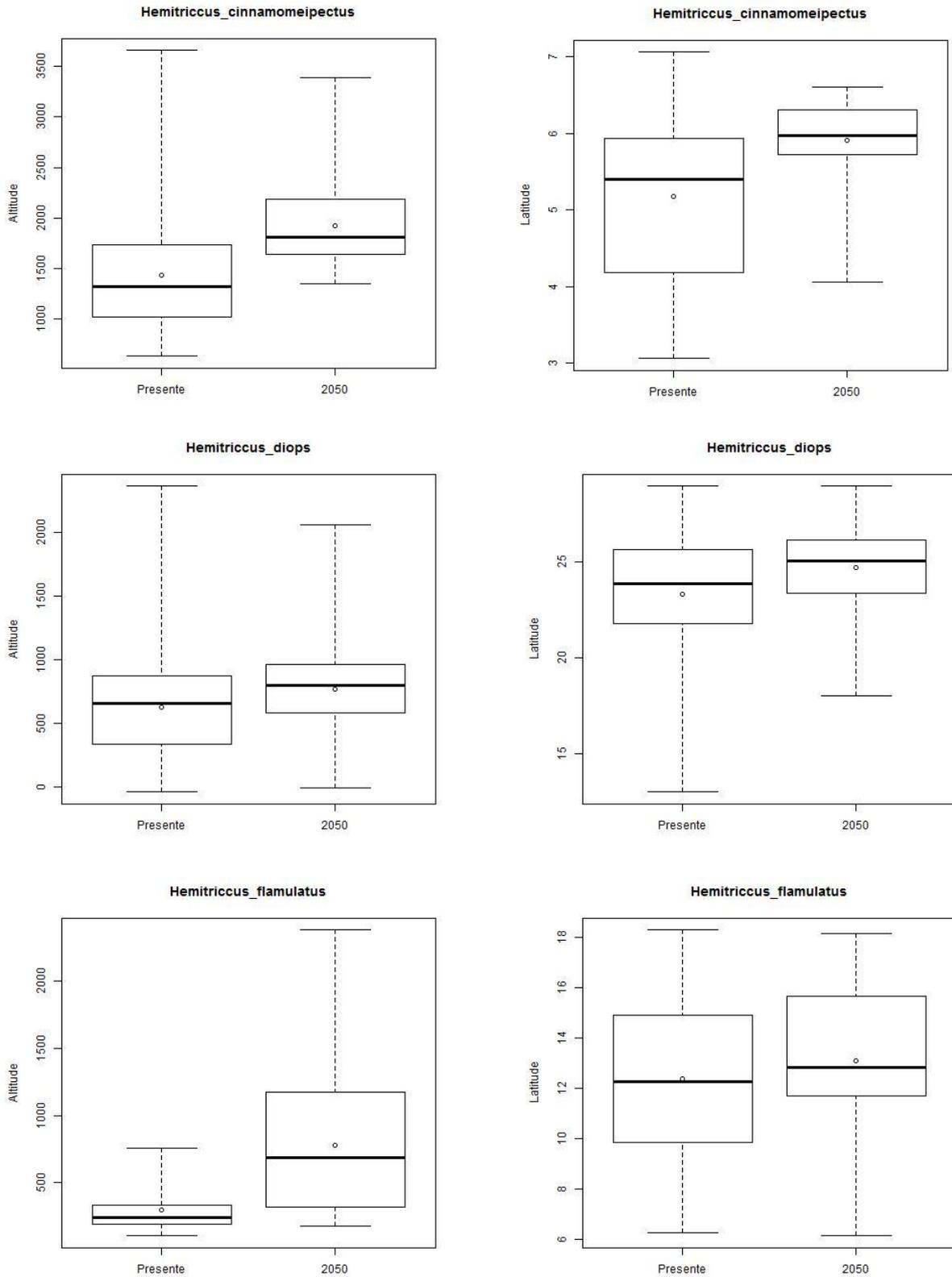
*Hemiriccus zosterops*

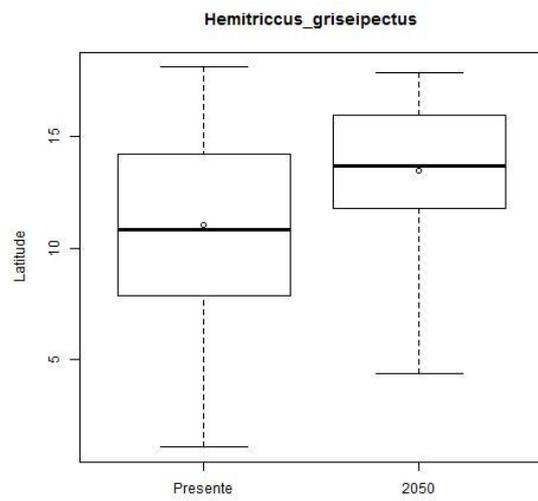
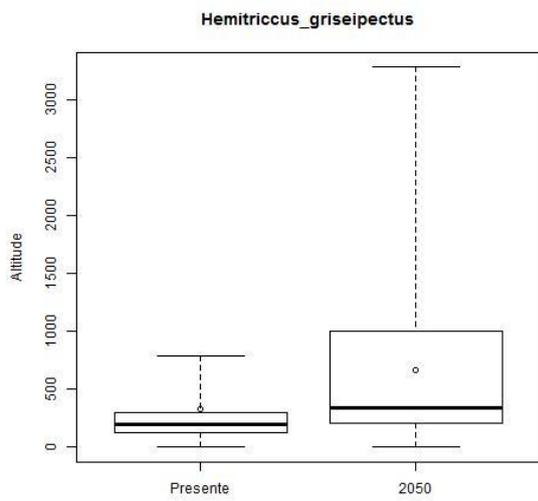
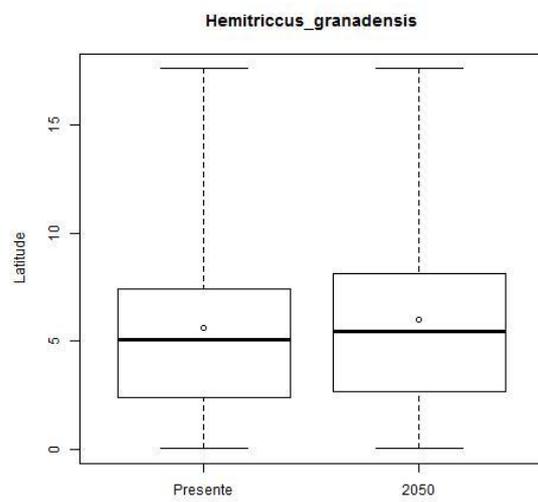
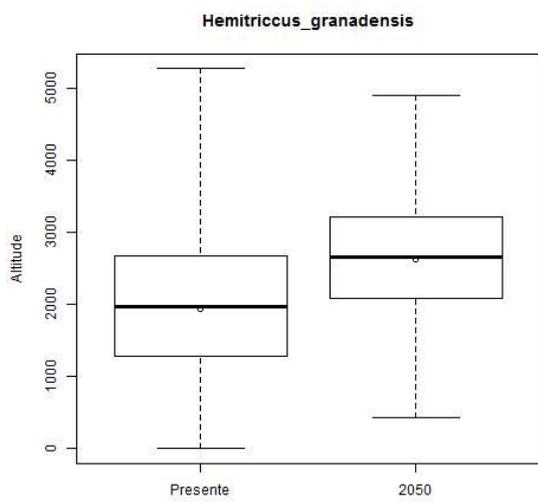
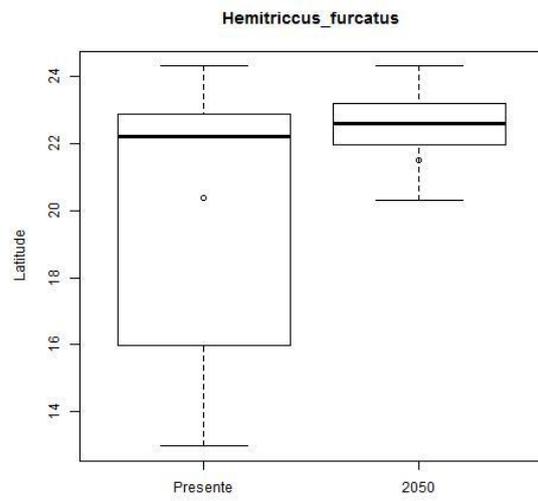
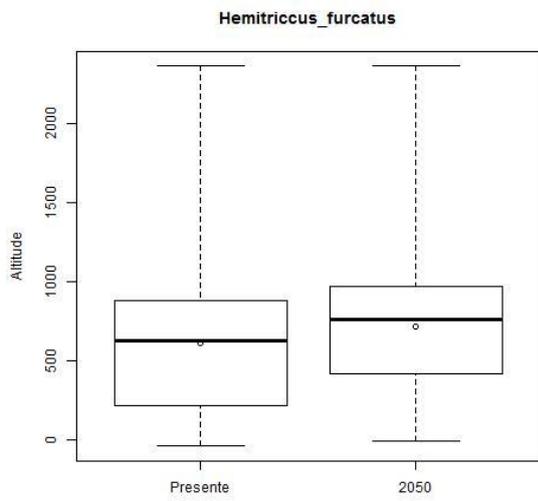
<i>Hemiriccus zosterops</i>					
Algoritmos	Repetições	TSS	AUC	Se	Sp
BRT	6	0,77	0,86	1,00	0,77
CART	2	0,71	0,86	0,78	0,94
FDA	6	0,77	0,86	0,93	0,85
GAM	10	0,75	0,87	0,94	0,82
GLM	6	0,75	0,87	1,00	0,75
MARS	19	0,77	0,87	0,97	0,81
MAXENT	77	0,79	0,90	0,98	0,81
SVM	12	0,77	0,88	0,89	0,88

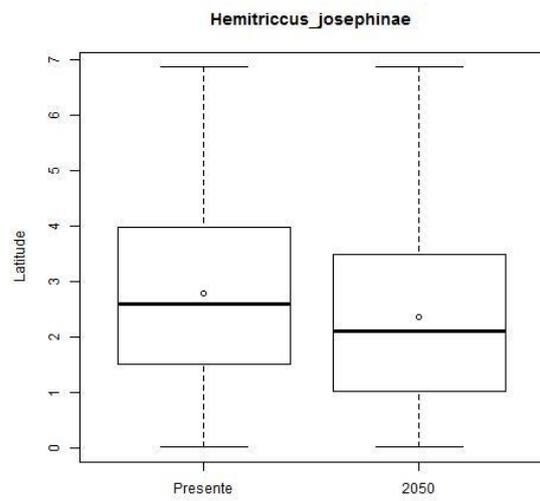
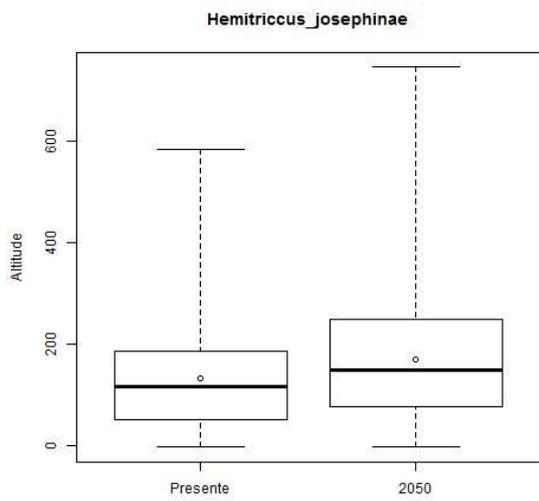
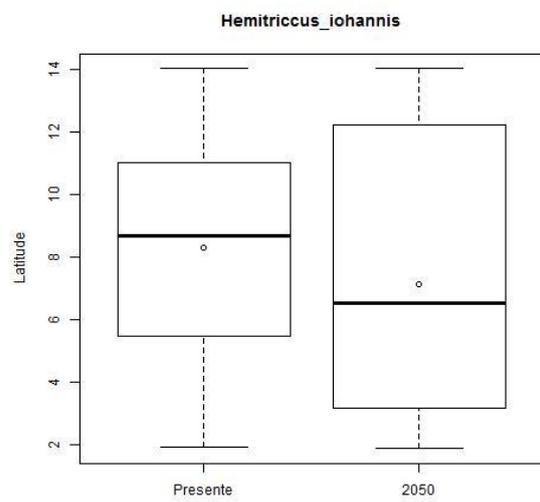
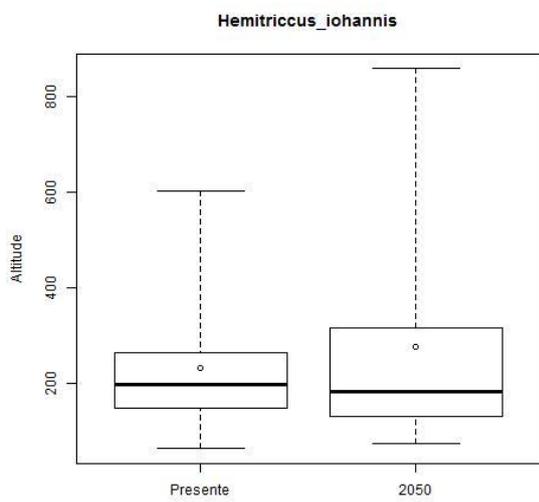
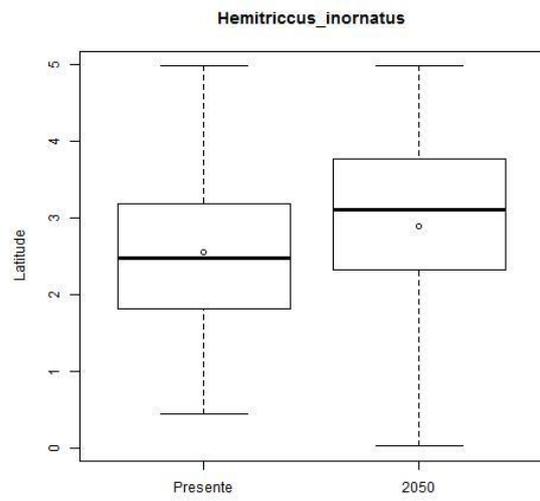
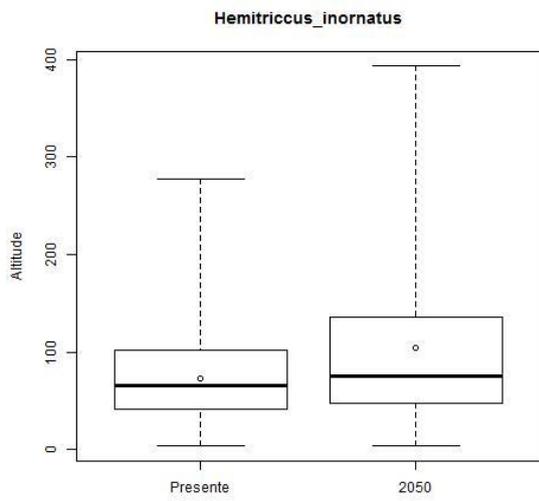


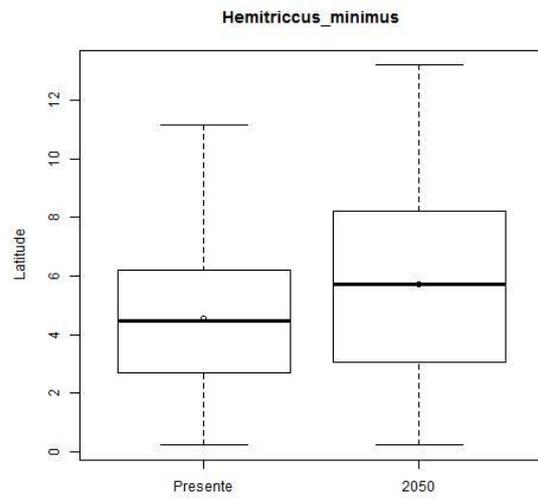
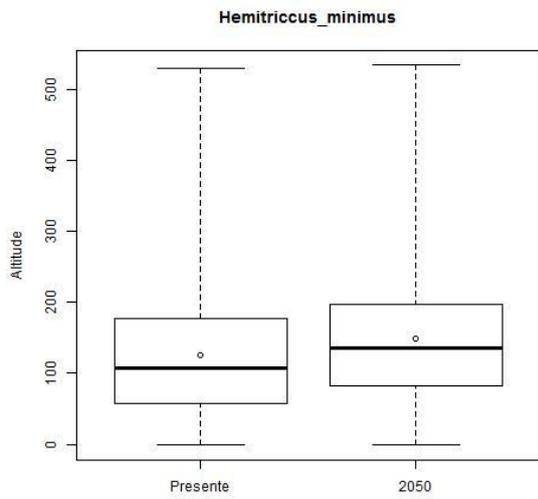
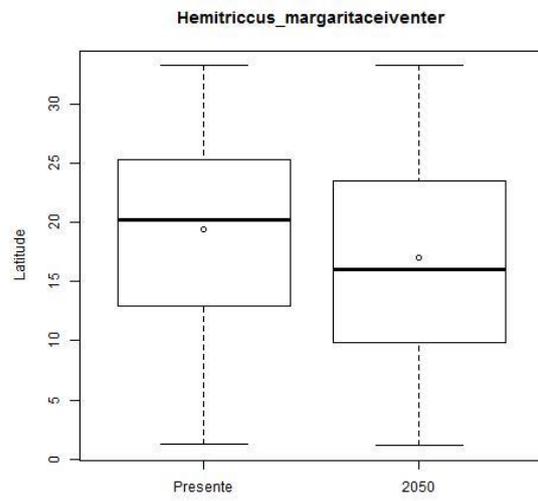
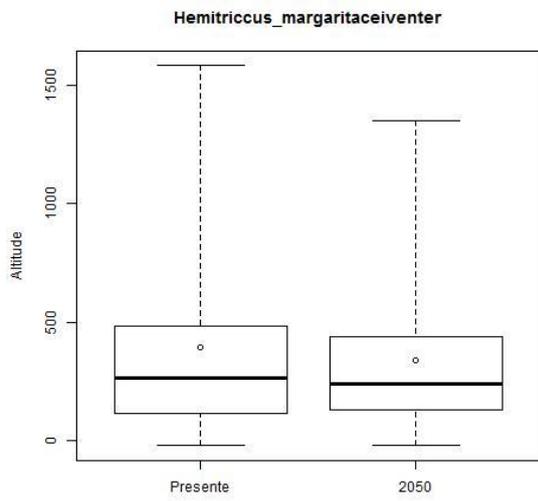
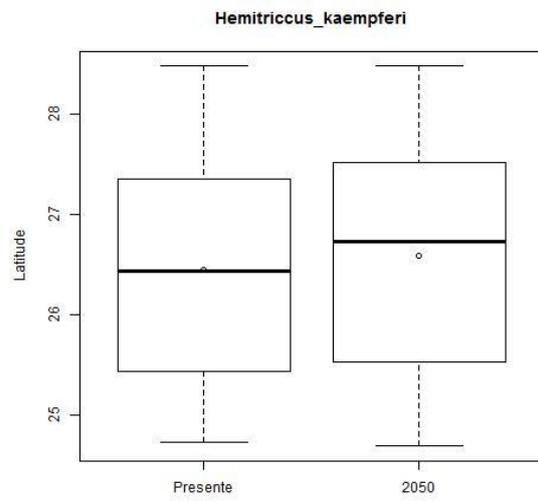
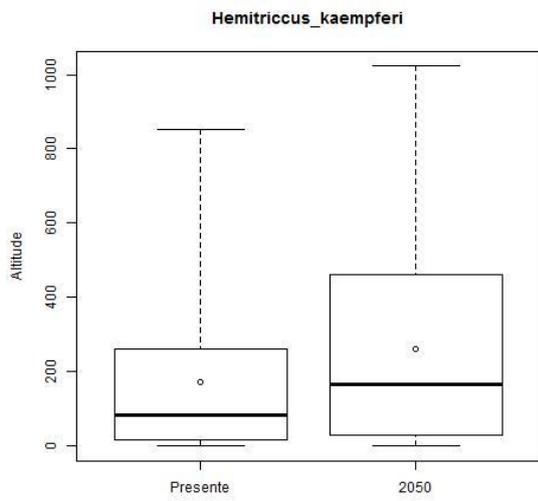
### APÊNDICE 3

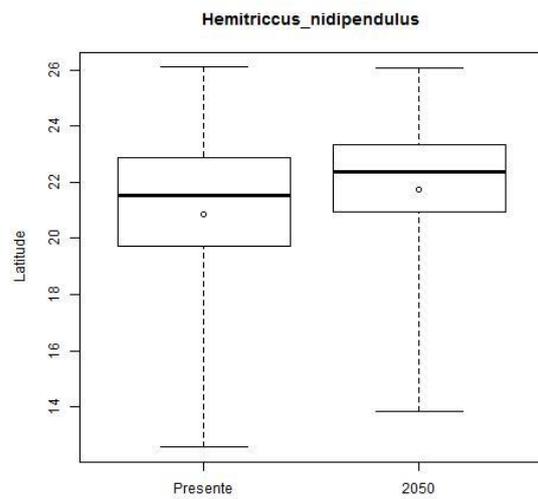
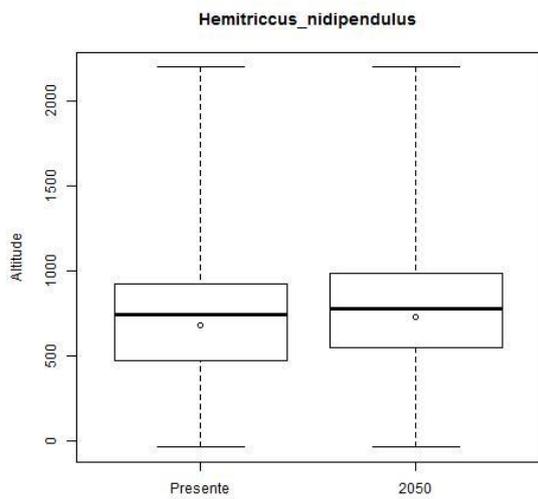
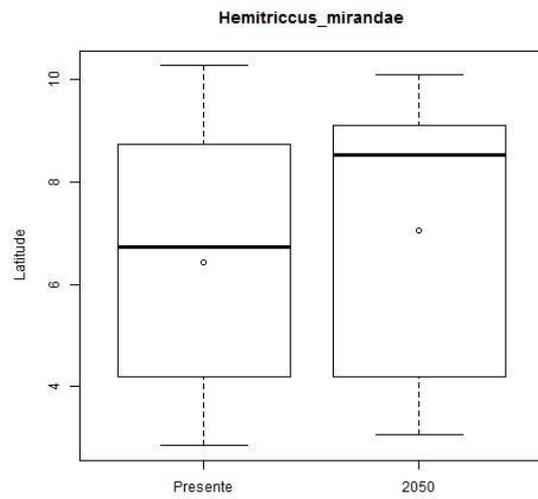
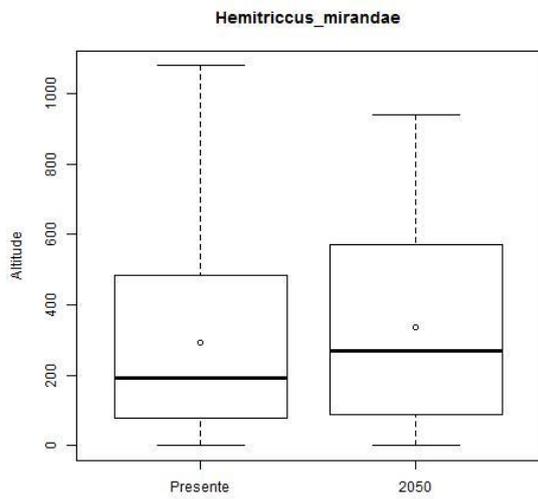
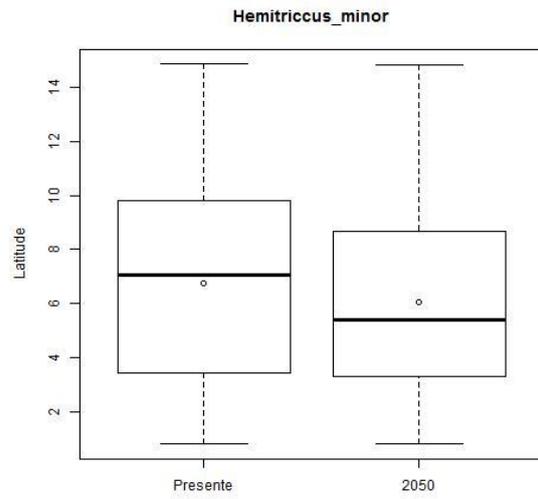
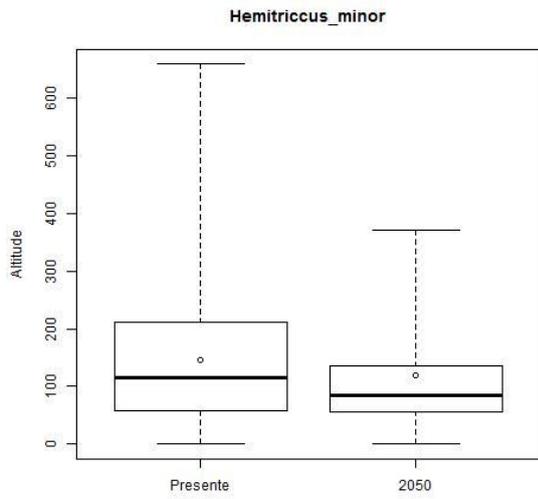
**Figuras S3.1:** Comparação dos valores de altitude e latitude das áreas previstas como adequadas para as espécies de *Hemitriccus* entre o presente e 2050. A barra horizontal sólida representa a mediana, o símbolo redondos a média, os extremos das caixas os quartis e os *whiskers* o 1º e o 99º percentis.

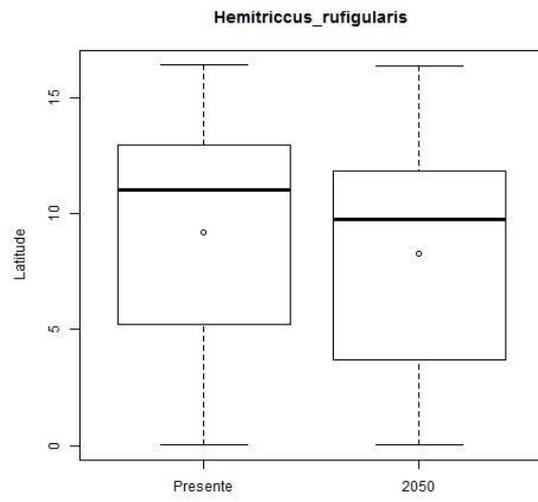
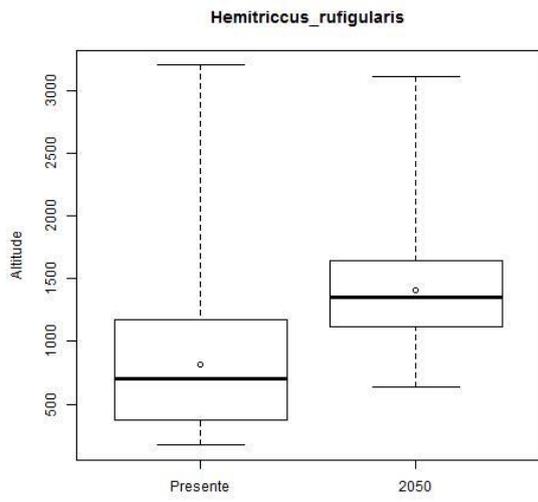
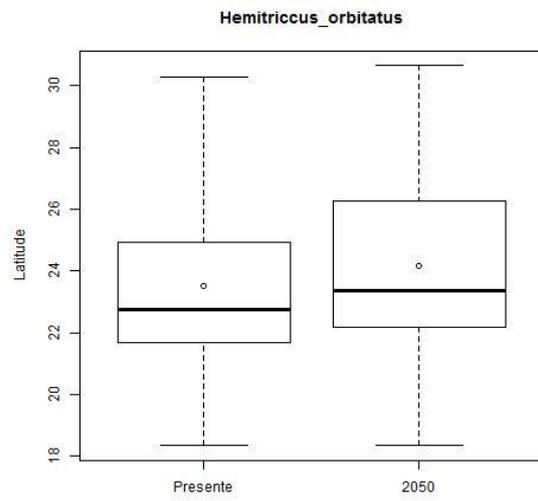
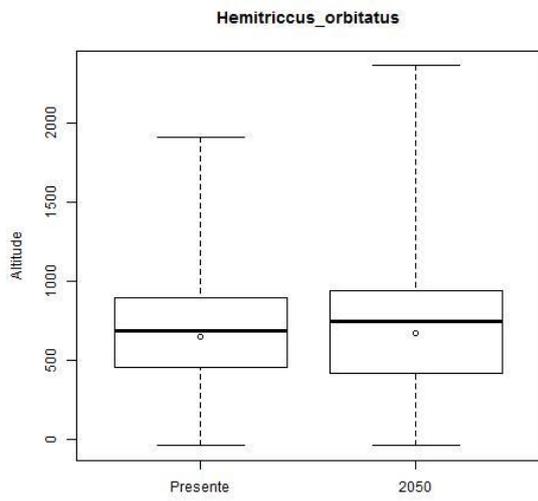
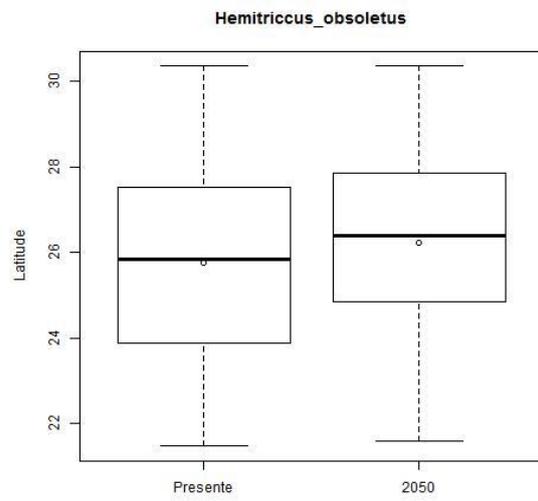
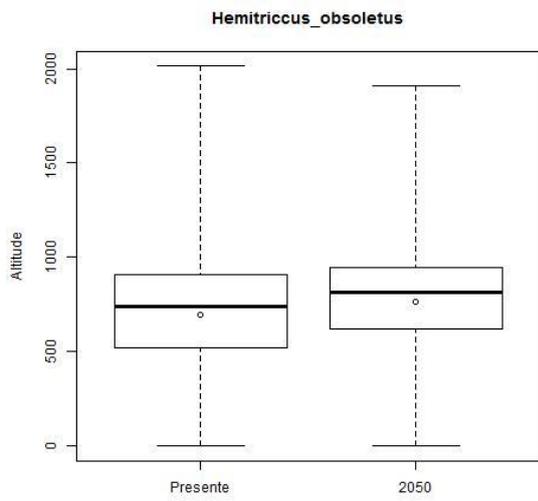


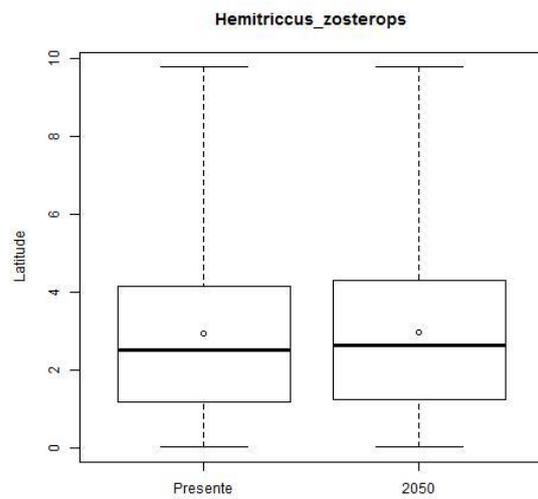
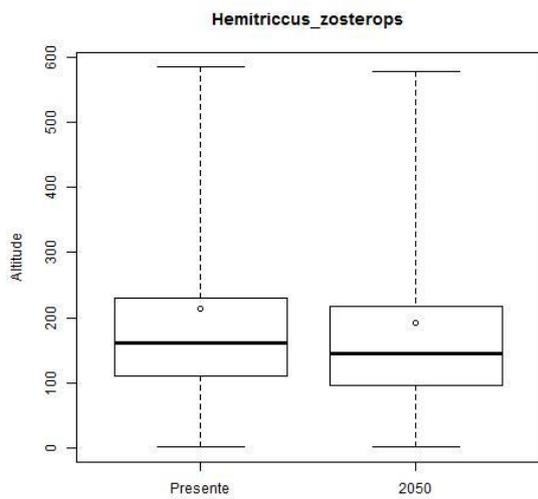
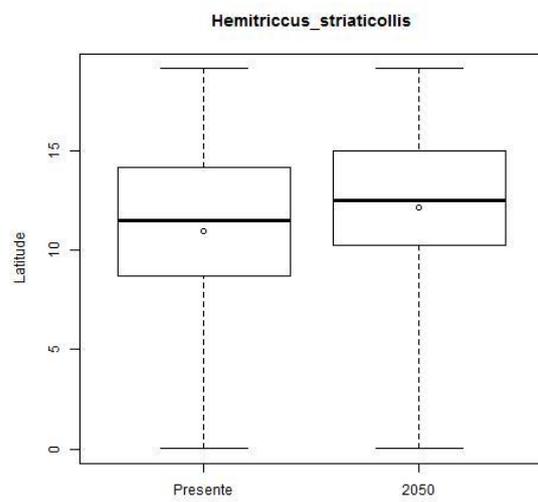
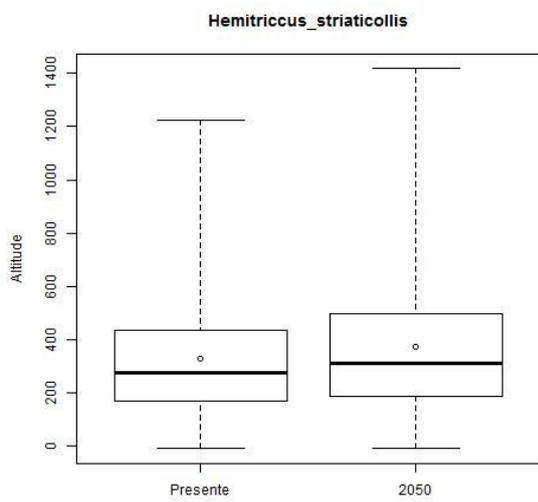
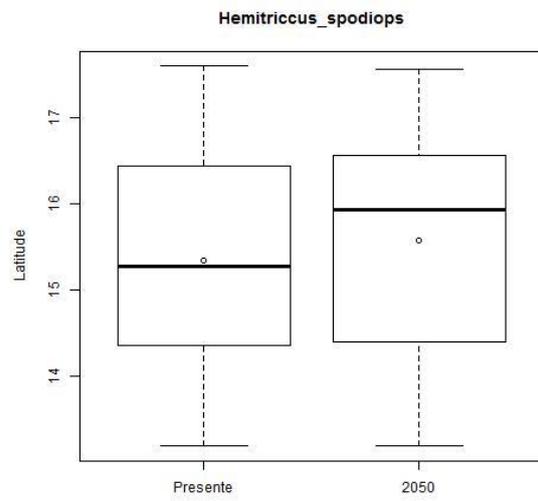
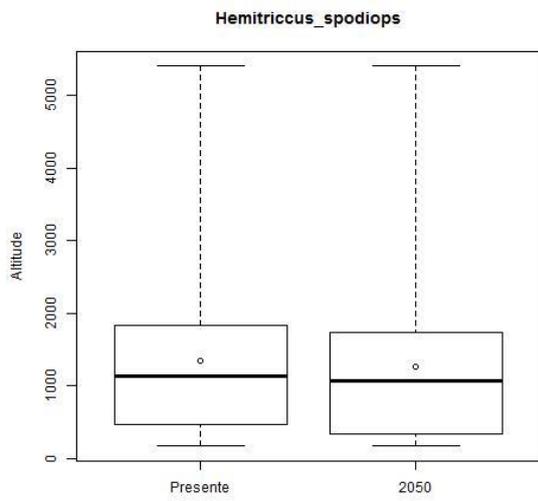






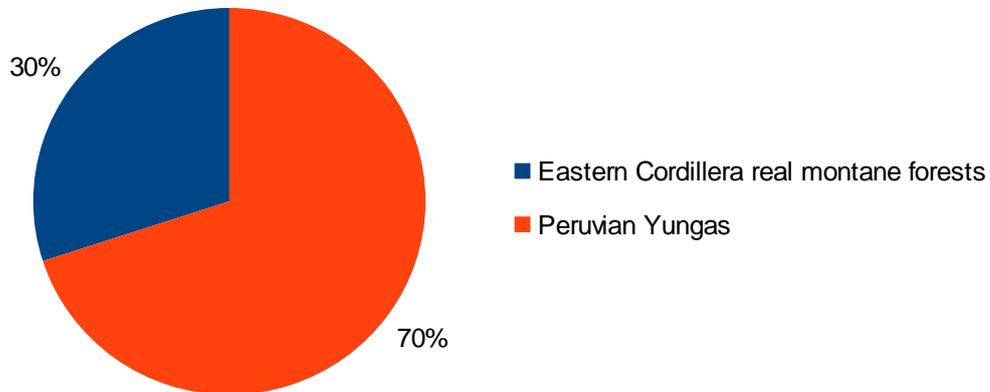




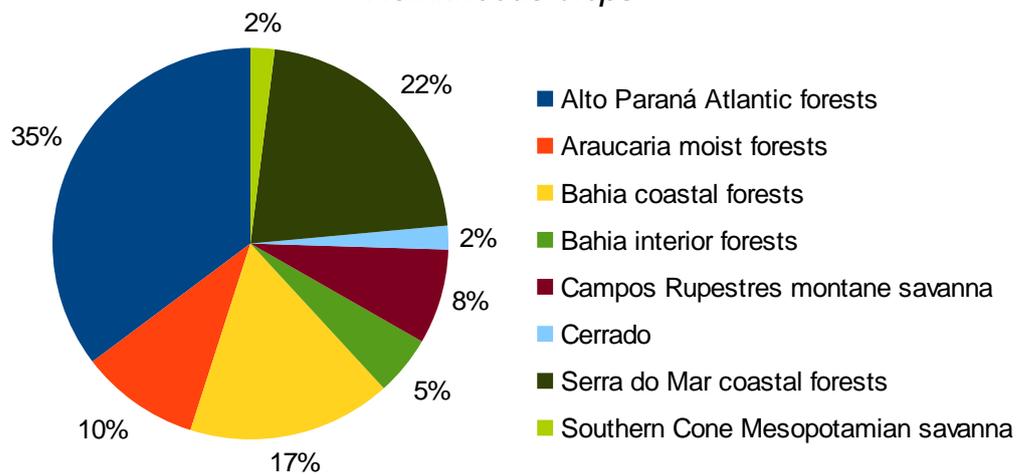


**Figuras S3.2:** Porcentagens de registros de ocorrência das espécies por ecorregião.

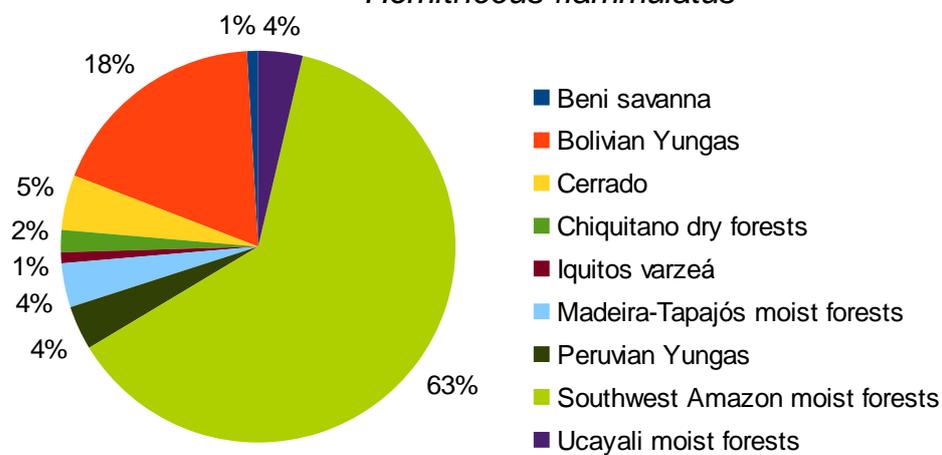
*Hemitriccus cinnamomeipectus*



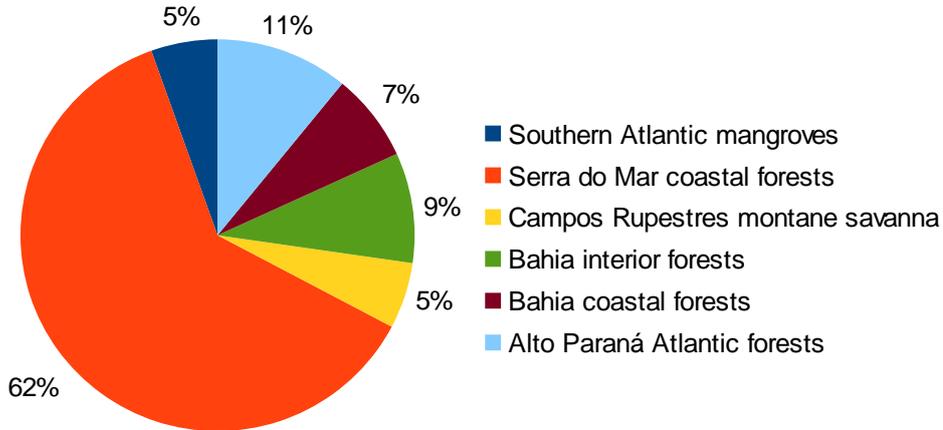
*Hemitriccus diops*



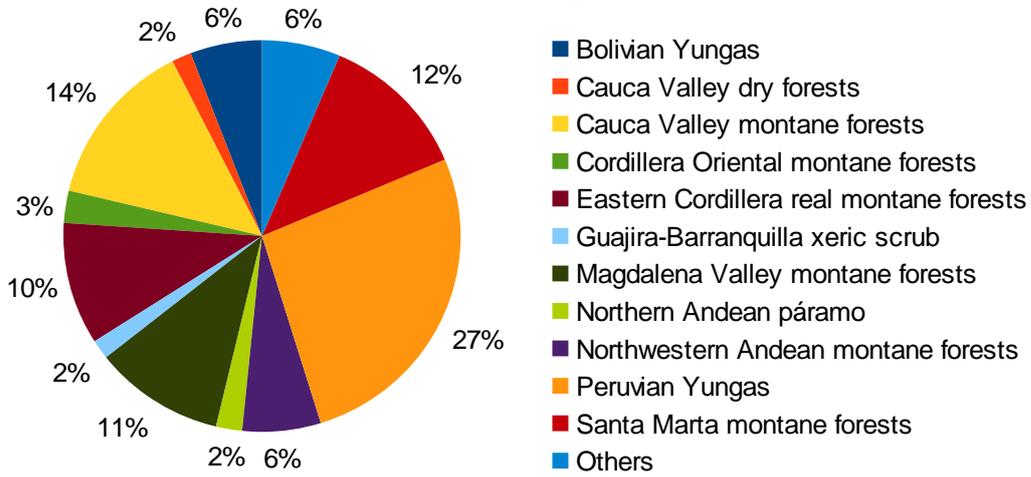
*Hemitriccus flammulatus*



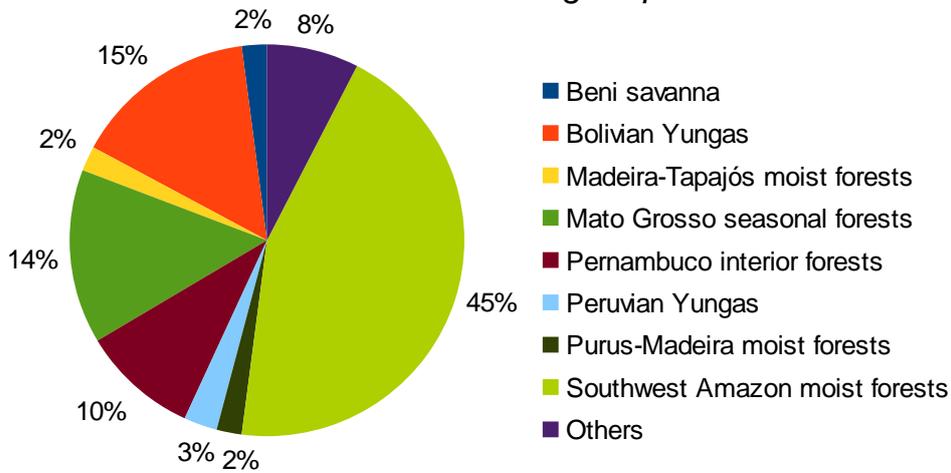
*Hemitriccus furcatus*



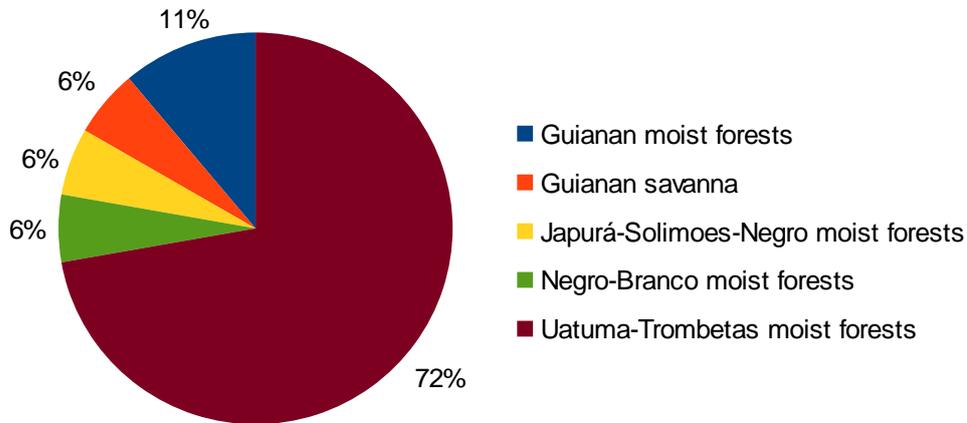
*Hemitriccus granadensis*



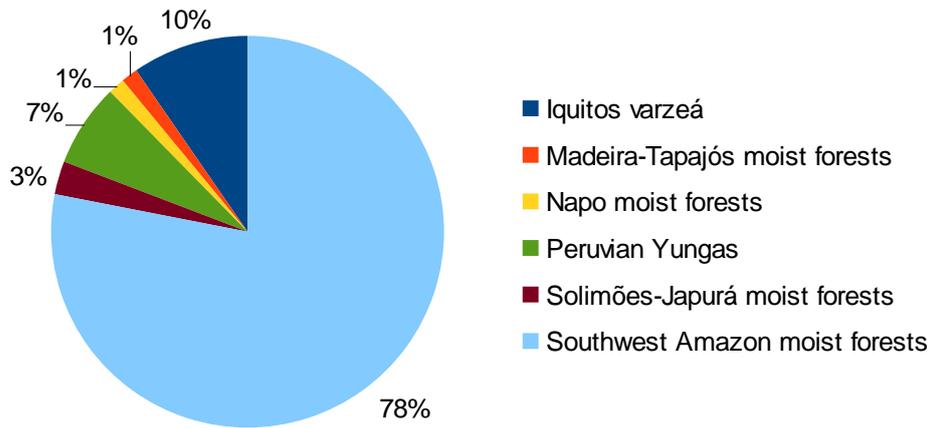
*Hemitriccus griseipectus*



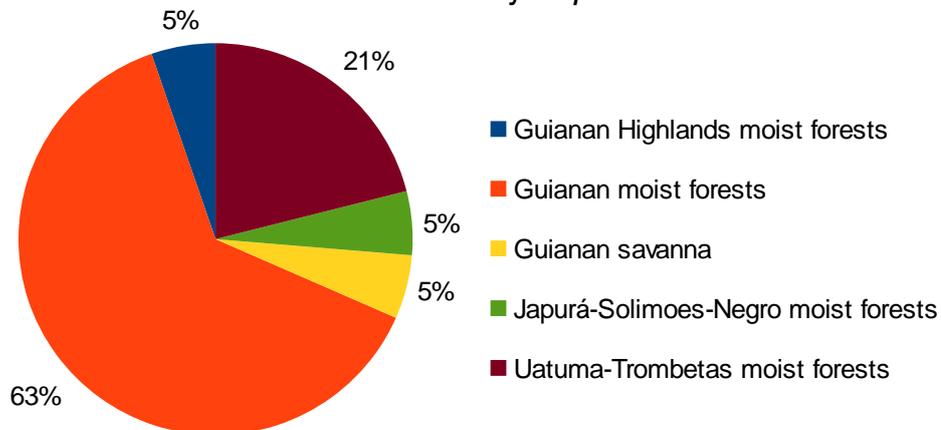
*Hemitriccus inornatus*



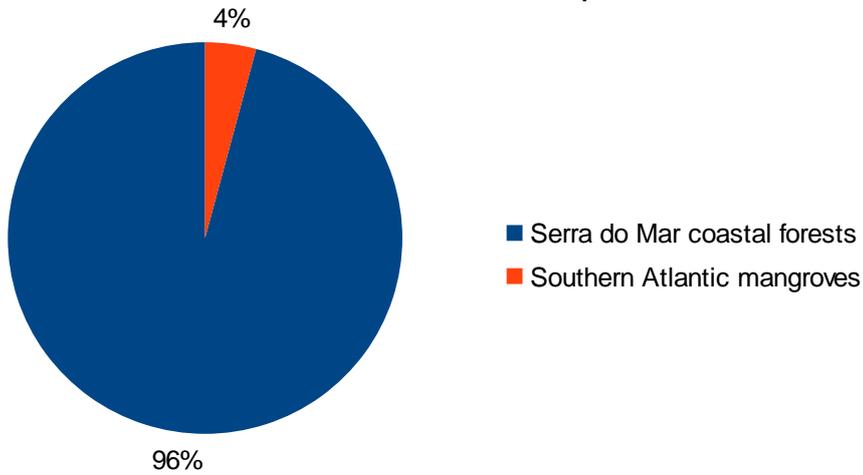
*Hemitriccus iohannis*



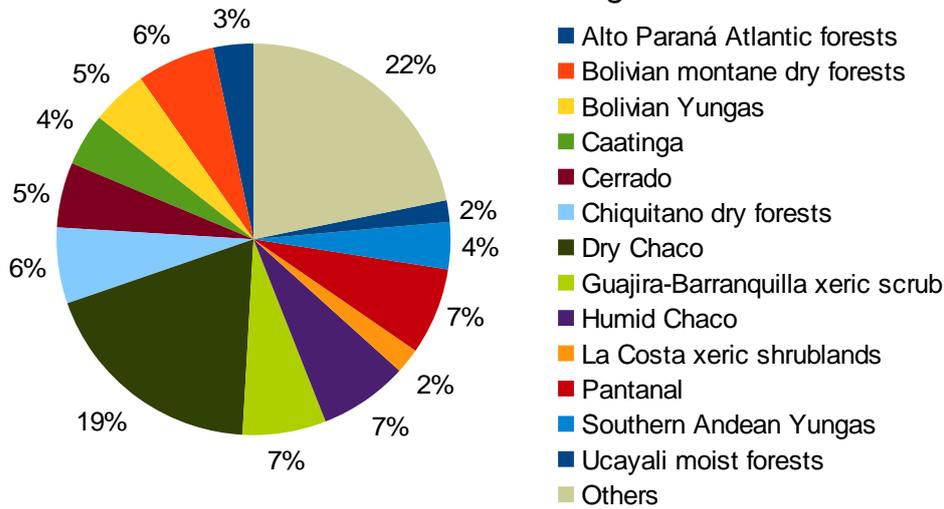
*Hemitriccus josephinae*



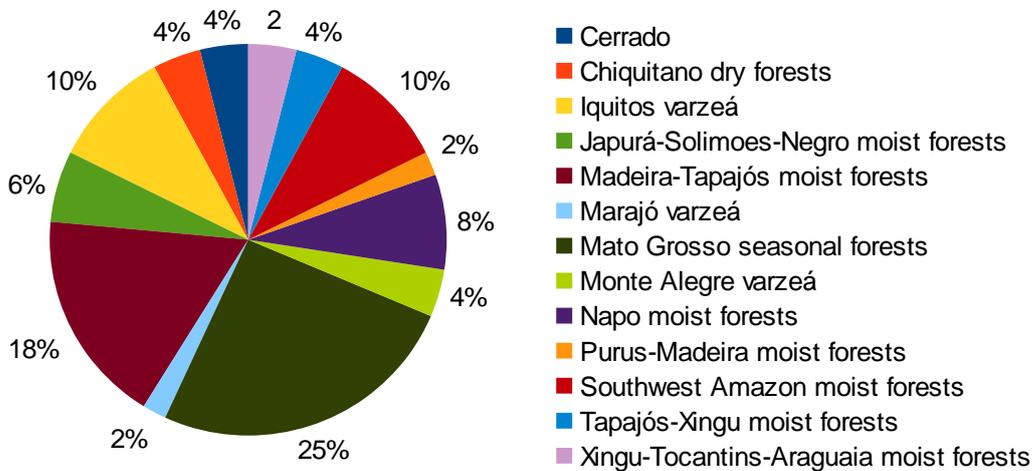
*Hemitriccus kaemperi*



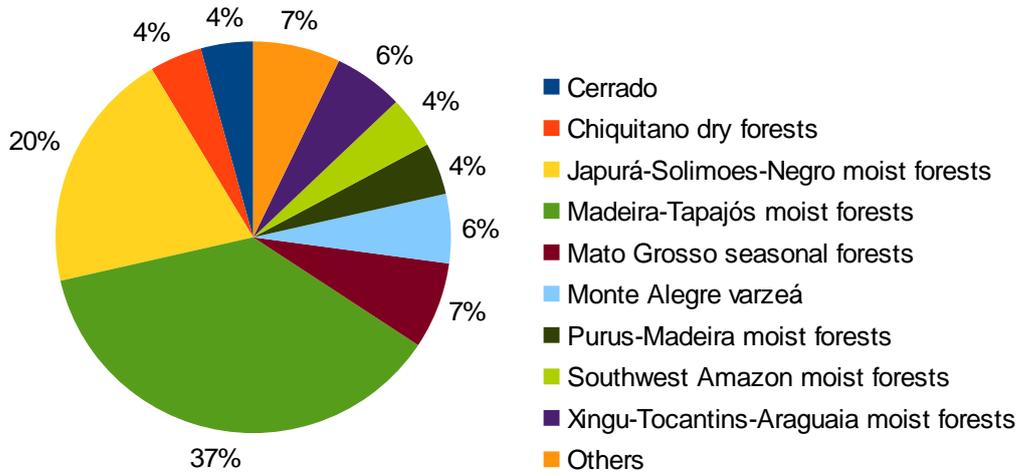
*Hemitriccus margaritaceiventer*



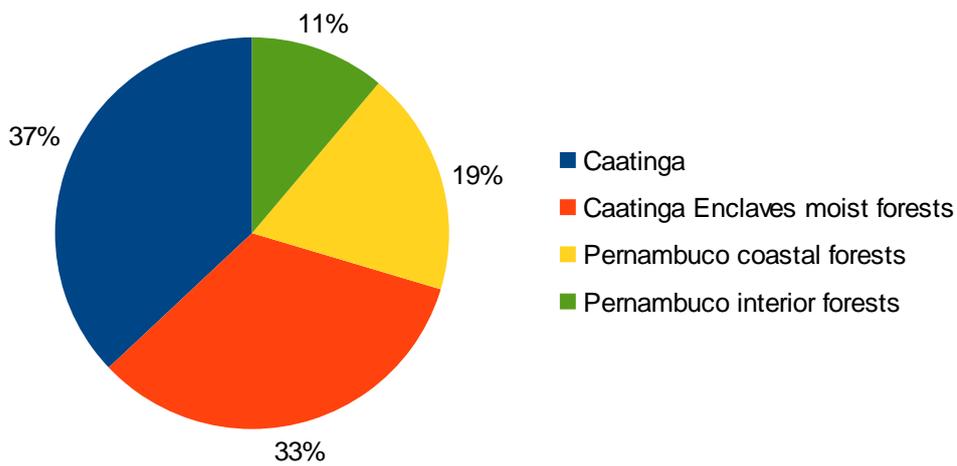
*Hemitriccus minimus*



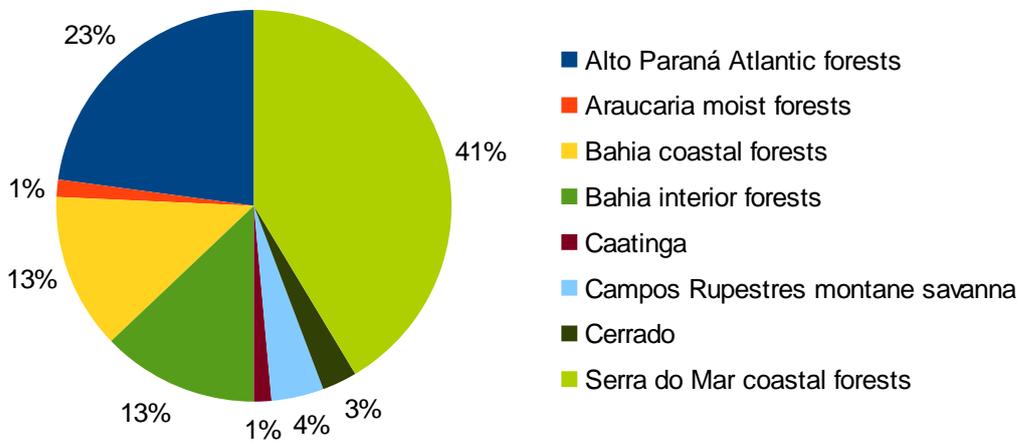
*Hemitriccus minor*



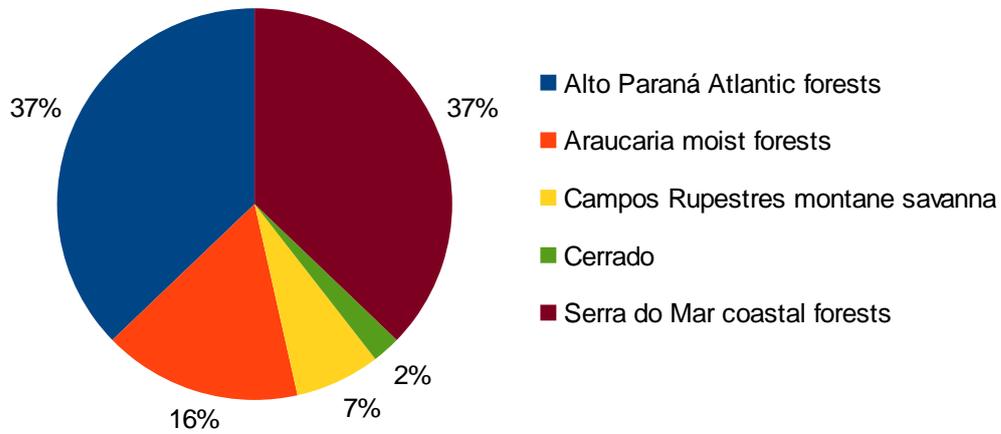
*Hemitriccus mirandae*



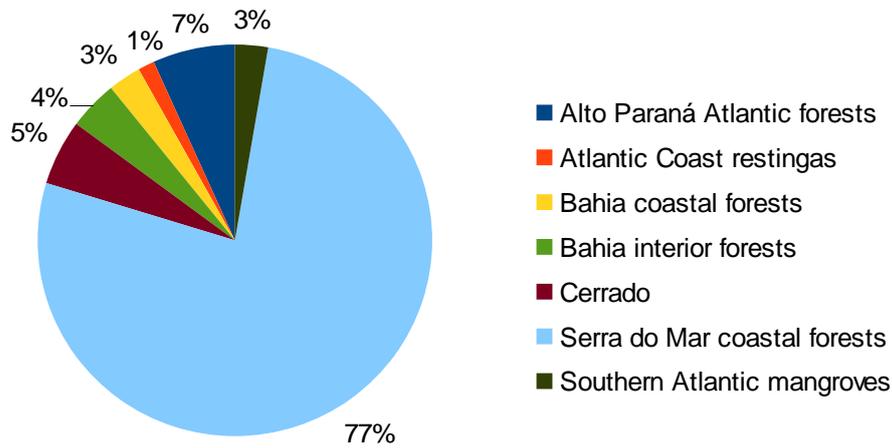
*Hemitriccus nidipendulus*



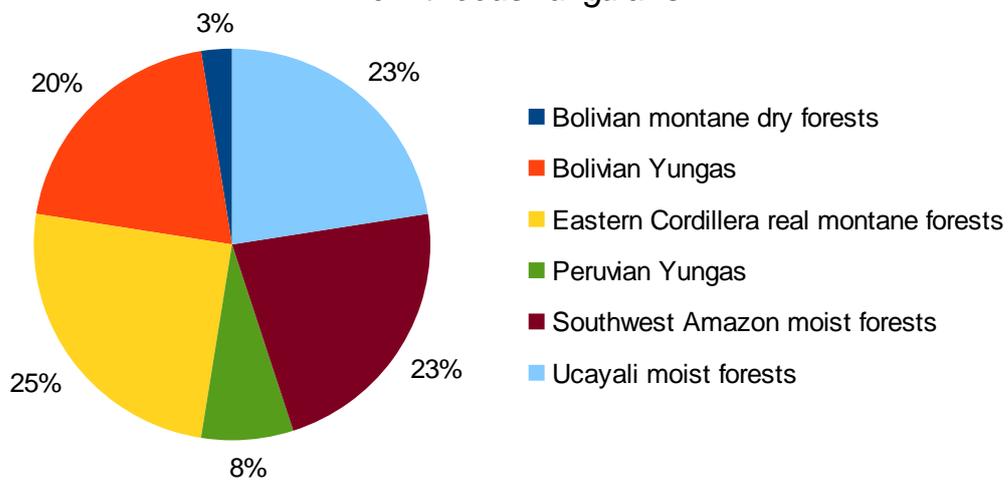
*Hemitriccus obsoletus*



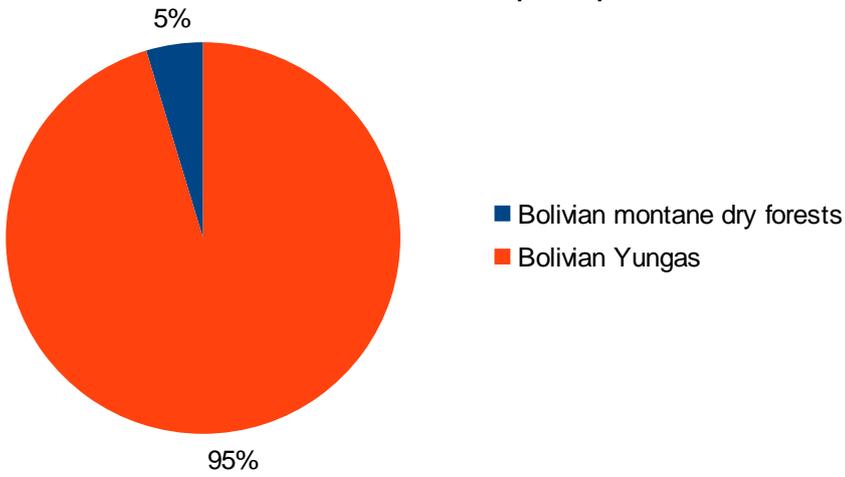
*Hemitriccus orbitatus*



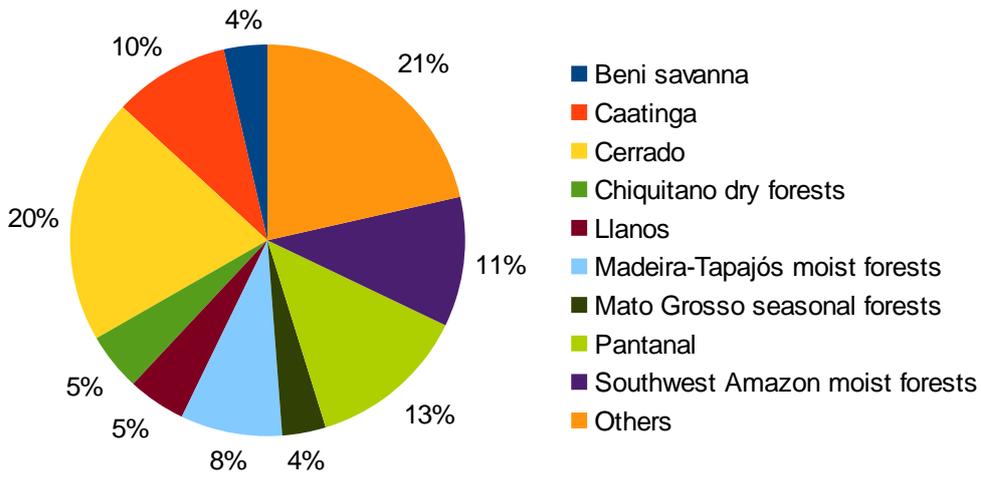
*Hemitriccus ruficularis*



*Hemitriccus spodiops*



*Hemitriccus striaticollis*



*Hemitriccus zosterops*

